

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

STABILIZACE VIDEO VYUŽÍVAJÍCÍ GLOBÁLNÍ OPTIMALIZAČNÍ ALGORITMY

VIDEO STABILIZATION USING GLOBAL OPTIMIZATION ALGORITHMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Patrik Bartoš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Kříž

BRNO 2017



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**

Ústav telekomunikací

Student: Patrik Bartoš

ID: 164712

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Stabilizace videa využívající globální optimalizační algoritmy

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V programu Matlab vytvořte aplikaci s vlastním GUI. Aplikace bude umožňovat stabilizaci obrazu vybrané videosekvence. Vybírat bude možno z několika optimalizačních algoritmů, které budou následně pro stabilizaci použity. V rámci GUI pak bude uživatel moci pro proces stabilizace nastavovat jednotlivé parametry apod.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Doňar, B., Zaplatílek, K. MATLAB pro začátečníky, 1. díl. Ben, technická literatura, Praha. ISBN: 80-730-1-5-6.

[2] JAN, J. Medical image processing, reconstruction and restoration: concepts and methods. Boca Raton: Taylor, 2006, 730 s. ISBN 08-247-5849-8.

Termín zadání: 1.2.2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: Ing. Petr Kříž

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje stabilizaci videa pomocí optimalizačních algoritmů CRS (kontrolované náhodné prohledávání) a GA (genetický algoritmus). Popisuje proces lícování obrazu, geometrické transformace, interpolační metody, podobnostní kritéria a optimalizační algoritmy. Stručně popisuje také strukturu programu vytvořeného v prostředí MATLAB. V závěru práce jsou obsaženy výsledky dosažené stabilizace.

KLÍČOVÁ SLOVA

CRS, kontrolované náhodné prohledávání, GA, genetický algoritmus, stabilizace videa, podobnostní kritéria, optimalizační algoritmy

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on video stabilization using CRS (Controlled Random Search) and GA (Genetic Algorithm) optimization algorithms. It describes registration process, geometrical transformations, interpolation methods, similarity criteria and optimization algorithms. It also briefly describes structure of program created in MATLAB. Finally it contains results of achieved stabilization.

KEYWORDS

CRS, controlled random search, GA, genetic algorithm, video stabilization, similarity criteria, optimization algorithms

BARTOŠ, Patrik *Stabilizace videa využívající globální optimalizační algoritmy*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2017. 49 s. Vedoucí práce byl Ing. Petr Kříž

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Stabilizace videa využívající globální optimalizační algoritmy“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Křížovi, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	10
1 Lícování	11
1.1 Geometrické transformace	12
1.1.1 Tuhé	12
1.1.2 Pružné	14
1.2 Interpolace	16
1.3 Podobnostní kritéria	17
1.3.1 Kritéria založená na intenzitách pixelů	17
1.3.2 Kritéria založená na informačním obsahu obrazů	18
2 Optimalizační metody	19
2.1 Kontrolované náhodné prohledávání	20
2.2 Genetický algoritmus	22
3 Popis programu	24
3.1 Struktura programu - CRS	24
3.1.1 Diagramy programu - CRS	25
3.2 Struktura programu - GA dodělat	27
3.2.1 Diagramy programu - GA	29
3.3 GUI	31
4 Výsledky bakalářské práce	32
4.1 Průběh měření	32
4.1.1 Měření algoritmu CRS	34
4.1.2 Měření algoritmu GA	35
4.1.3 Zhodnocení výsledků pro CRS	39
4.1.4 Zhodnocení výsledků pro GA	39
4.1.5 Srovnání algoritmů	39
5 Závěr	40
Literatura	41
Seznam symbolů, veličin a zkratek	42
Seznam příloh	43

A	Vypočítané hodnoty z měření	44
A.1	Hodnoty pro měření č. 1	44
A.2	Hodnoty pro měření č. 2	45
A.3	Hodnoty pro měření č. 3	46
A.4	Hodnoty pro měření č. 4	47
A.5	Hodnoty pro měření č. 5	48
B	Obsah přiloženého CD - doplnit	49

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Transformace obrazu: translace	13
1.2	Transformace obrazu: rotace	13
1.3	Transformace obrazu: translace + rotace	14
1.4	Transformace obrazu: škálování	15
1.5	Transformace obrazu: zkosení	15
2.1	Průběh nahrazení nejhoršího bodu v CRS	21
2.2	Obecný průběh pro genetický algoritmus	22
3.1	Diagram pro glogální CRS algoritmus	26
3.2	Diagram pro algoritmus CRS na stabilizaci snímku	27
3.3	Diagram pro glogální GA algoritmus	29
3.4	Diagram pro algoritmus GA na stabilizaci snímku	30
3.5	Grafické uživatelské rozhraní	31
4.1	Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním - měření č. 1	34
4.2	Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním pro měření č. 2	35
4.3	Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním pro měření č. 3	36
4.4	Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním pro měření č. 4	37
4.5	Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním pro měření č. 5	38

SEZNAM TABULEK

4.1	Parametry videa.	32
4.2	Nastavení stejných parametrů kvality stabilizace pro oba algoritmy. .	32
4.3	Nastavení kvality stabilizace CRS pro měření č. 1	34
4.4	Nastavení stabilizace GA pro měření č. 2	35
4.5	Nastavení stabilizace GA pro měření č. 3	36
4.6	Nastavení stabilizace GA pro měření č. 4.	37
4.7	Nastavení stabilizace GA pro měření č. 5	38
A.1	Vypočítané hodnoty z měření č. 1	44
A.2	Vypočítané hodnoty z měření č. 2	45
A.3	Vypočítané hodnoty z měření č. 3	46
A.4	Vypočítané hodnoty z měření č. 4	47
A.5	Vypočítané hodnoty z měření č. 4	48

ÚVOD

Tato práce se věnuje stabilizaci videa za pomoci optimalizačních algoritmů CRS (kontrolovaného náhodného prohledávání) a GA (genetického algoritmu). K dosažení stabilizace videa lze dospět procesem lícování jednotlivých snímků dané video-sequen-
ce.

V práci je vysvětleno, co je samotné lícování a jaký je jeho průběh. Popisuje geometrické transformace a jejich typy a také proces interpolace. Rozebrány jsou zde také kritériální funkce, které jsou optimalizačními algoritmy využívány k optimalizaci hledaných parametrů a za účelem zkoumání a vyhodnocení podobnosti dvou obrazů. Pomocí kritériálních funkcí můžeme nastavit požadovanou kvalitu výsledné stabilizace. Dále popisuje, k čemu slouží optimalizační metody, a podrobněji se věnuje právě zde použitým metodám CRS i GA.

V práci je také napsána struktura vytvořeného programu pro stabilizaci videa. Jsou zde popsány jednotlivé soubory programu, vysvětlena jejich funkce a zobrazeny diagramy procesů stabilizace.

V závěru práce jsou statisticky vypracovány výsledky programu na stabilizaci videa. Můžeme vidět, jaká je časová náročnost zvolených optimalizačních algoritmů, a jaké zlepšení přináší oproti původnímu (nestabilizovanému) videu.

1 LÍCOVÁNÍ

Lícování je proces zpracování snímků, při kterém se jeden z dvojice porovnávaných obrazů transformuje tak, že v ideálním případě každý jeho bod koresponduje s referenčním snímkem. Proces lícování je potřebný zejména při porovnání dvou snímků, které byly pořízeny z rozdílných pohledů, různými detektory nebo kvůli změně scény například nasvícení. Další faktor, který může způsobit rozdílnost snímků, je jejich pořízení v rozdílném čase. [1][2]

Zjednodušeně můžeme lícování chápat jako proces zpracování obrazů, který se svým opakováním co nejvíc snaží připodobnit dva obrazy a dosáhnout požadované kvality.

- Proces je v první řadě zahájen zjištěním podobnosti obrazů, a to výpočtem zvoleného podobnostního kritéria lícovaných obrazů. Podobnostní kritéria jsou detailněji zpracována v kapitole 1.3.
- Poté se pomocí zvoleného kritéria odhadnou transformační parametry a následuje provedení geometrické transformace podle zjištěných parametrů.
- Po provedení výše zmíněných kroků vznikne upravený obraz, který by měl být podobnější referenčnímu obrazu, než byl náš počáteční snímek.
- Při provedení geometrické transformace může dojít k posunu souřadnic o nečíselné hodnoty, tento problém můžeme eliminovat interpolací bodů (přepočet do původní prostorové souřadnice). Interpolace je podrobněji rozvedena v kapitole 1.2.
- Výsledkem popsaného postupu je vznik transformovaného obrazu. Kvalita transformovaného obrazu je ovšem ve většině případů nedostatečná.
- Pro dosažení požadované kvality je nutné zvolit vhodnou optimalizační metodu, která bude zajišťovat opakování nalezení optimálních parametrů geometrické transformace, po jejíž aplikaci se zvýší podobnost transformovaného obrazu s obrazem referenčním na požadovanou hodnotu.

Matematické vyjádření popsaného procesu lícování vyjádříme pomocí této rovnice.

$$\alpha_0 = \arg \max_{\alpha} c(B(\mathbf{x}_B), A'(T_{\alpha}(\mathbf{x}_A))) \quad (1.1)$$

Ta popisuje nalezení optimálního vektoru α_0 geometrické transformace T ve smyslu minimalizovat či maximalizovat podobnostní funkci c , která je vypočítána mezi referenčním obrazem B a transformovaným obrazem A' . [1][3]

1.1 Geometrické transformace

Podstatou geometrických transformací je převedení souřadnic původního obrazu do nových pozic. Přesněji řečeno, hodnoty nacházející se na souřadnicích vstupního obrazu zůstávají shodné s výstupním obrazem, ale liší se pouze v souřadnicích. K transformaci dojde vynásobením vektorů obrazu zvolenou transformační maticí. Základní rozdělení geometrických transformací je na lineární a nelineární.

Při provádění lineárních geometrických transformací je zachována přímota a rovnoběžnost čar nebo rovinnost ploch (pokud je dotčený obraz trojrozměrně vyjádřen) v obraze. Nelineární transformace oproti lineárním nedodrží rovinnost ploch či rovnoběžnost čar. Tyto transformace při vypracování této práce nejsou potřebné, proto se dále zabýváme pouze lineárními. Lineární transformace dále můžeme rozdělit na tuhé a pružné. [1]

1.1.1 Tuhé

Tuhé geometrické transformace nám povolují pouze poziční změnu souřadnic, takže je zachována vzdálenost mezi jednotlivými body obrazu.

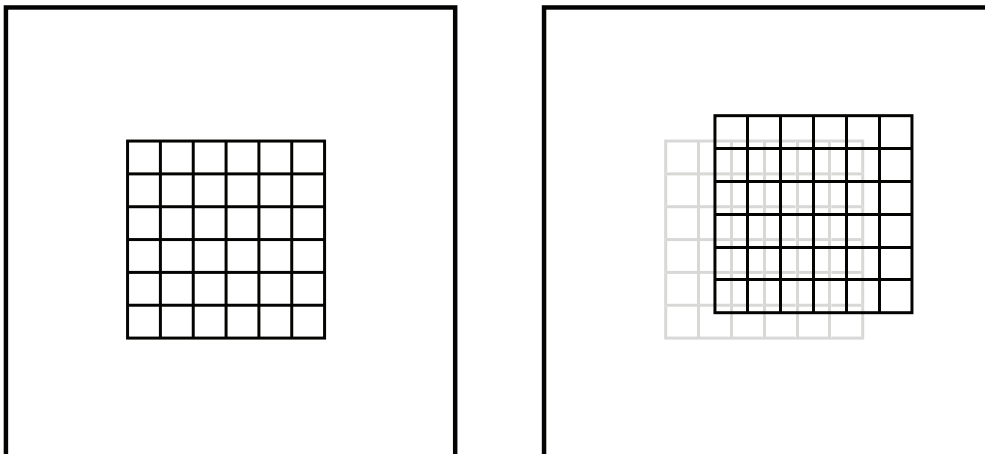
Translace

Je nejjednodušším případem tuhé transformace, při níž dochází pouze k posunu bodů do nových prostorových souřadnic.

$$\mathbf{r}' = \mathbf{r} + \Delta \mathbf{r}, \quad (1.2)$$

kde \mathbf{r}' je poziční vektor transformovaných prostorových souřadnic, \mathbf{r} souřadnic původních a $\Delta \mathbf{r}$ je vektor jejich rozdílu. Pro trojrozměrný prostor můžeme rovnici rozepsat jako

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix}. \quad (1.3)$$



Obr. 1.1: Transformace obrazu: translace

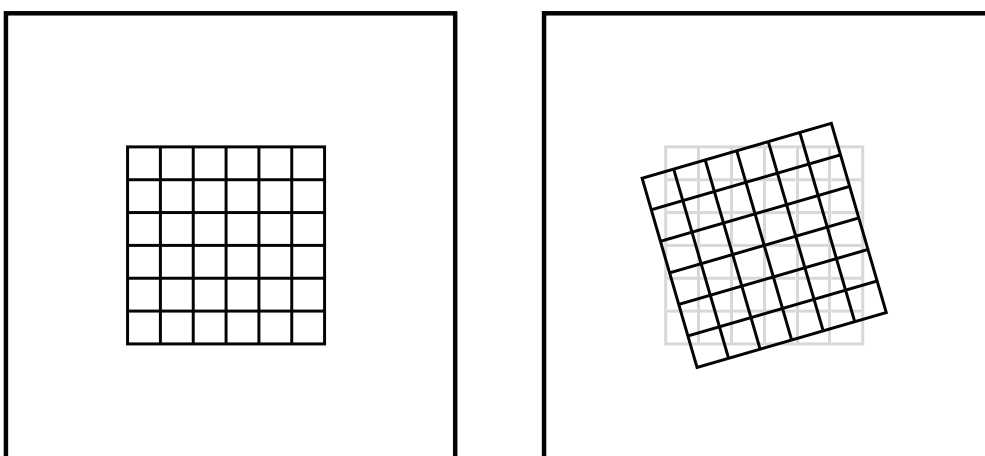
Rotace

Při této transformaci dochází pouze k rotaci okolo zvolené osy.

$$\mathbf{r}' = \mathbf{B}\mathbf{r}, \quad (1.4)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \cos \Theta & -\sin \Theta \\ \sin \Theta & \cos \Theta \end{bmatrix}, \quad (1.5)$$

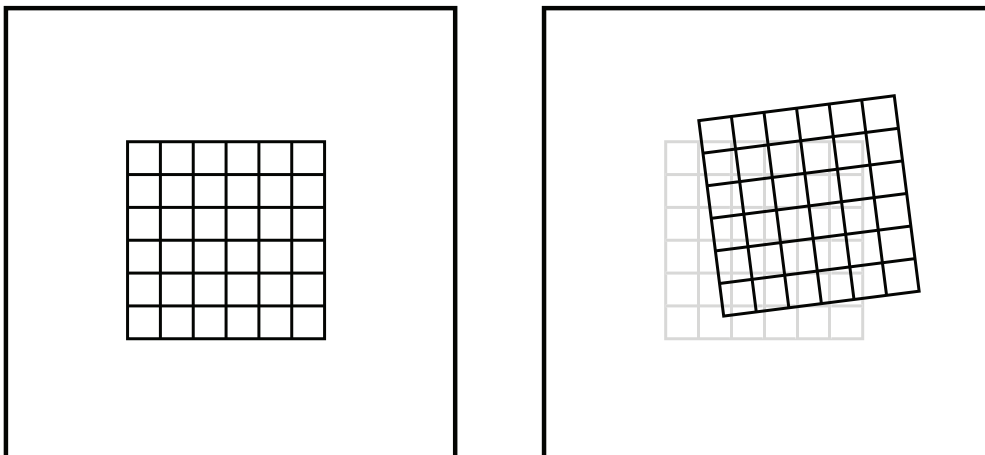
kde \mathbf{B} je transformační matice pro posun o úhel Θ .



Obr. 1.2: Transformace obrazu: rotace

Při spojení těchto dvou transformací dostaneme rovnici pro výpočet obecné tuhé transformace.

$$\mathbf{r}' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{R}\mathbf{r} = \begin{bmatrix} \cos \Theta & -\sin \Theta & \Delta x \\ \sin \Theta & \cos \Theta & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$



Obr. 1.3: Transformace obrazu: translace + rotace

1.1.2 Pružné

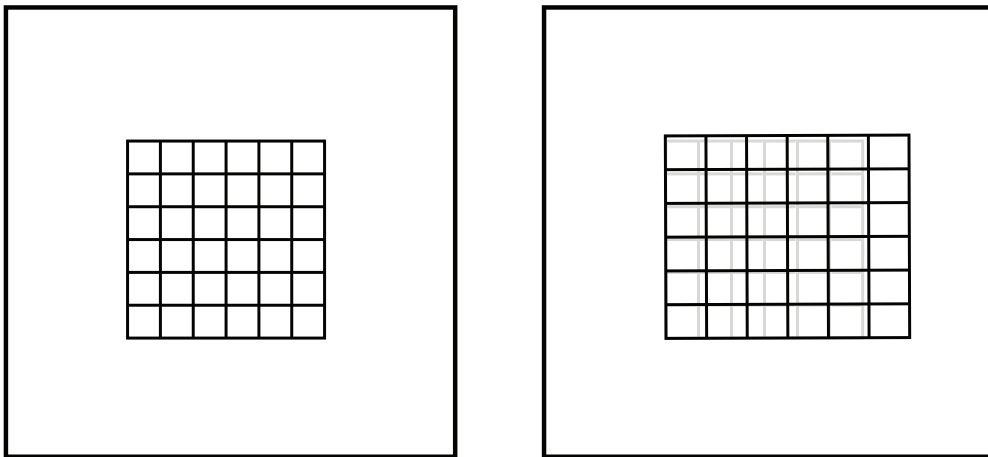
Při těchto transformacích dochází k deformaci struktur v obrazech, tj. mění se vzdálenosti mezi body.

Škálování

Dochází ke změně měřítka obrazu.

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1.7)$$

kde s_x a s_y vyjadřuje změnu měřítka pro x nebo y .



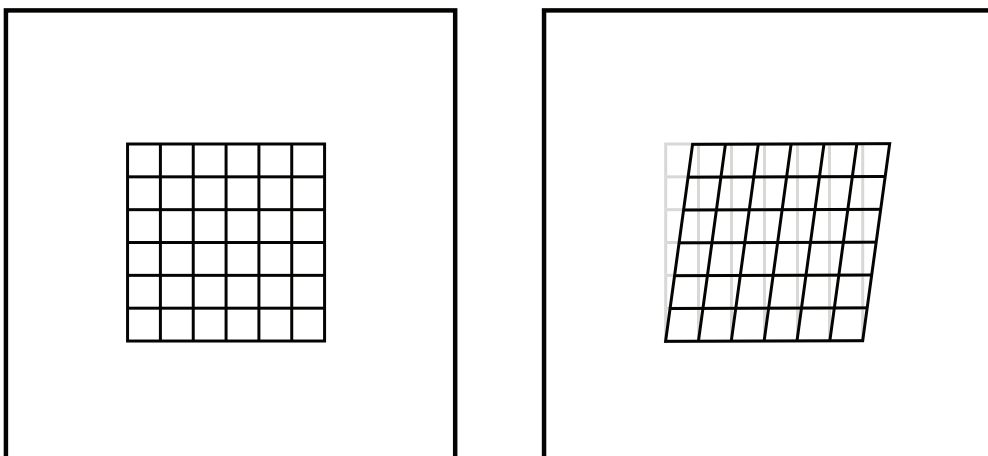
Obr. 1.4: Transformace obrazu: škálování

Zkosení

Translace řádků nebo sloupců podle určité osy.

$$\mathbf{G}_x = \begin{bmatrix} 1 & g_{xy} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{G}_y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ g_{yx} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1.8)$$

kde g_{xy} a g_{yx} vyjadřují míru zkosení ve směrech souřadnicových os.



Obr. 1.5: Transformace obrazu: zkosení

Vynásobením předchozích pružných transformací a obecné tuhé transformace \mathbf{R} , dostaneme nejobecnější lineární obrazovou transformaci, která se nazývá afinní.

$$\mathbf{r}' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{G}_x \mathbf{G}_y \mathbf{S} \mathbf{R} \mathbf{r} = \mathbf{A} \mathbf{r} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_1 \\ a_{21} & a_{22} & t_2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (1.9)$$

Ta má 12 na sobě nezávislých parametrů, zachovává rovinnost ploch, přímost i rovnoběžnost čar. Kvůli své linearitě je právě často používána jako maximálně pružná lineární transformace. Zdroje použité při zpracování této kapitoly jsou [1], [2] a [3].

1.2 Interpolace

Při aplikaci geometrické transformace dojde k výpočtu nových pozičních souřadnic bodů a to může mít za následek, že body nebudou spadat do pravidelné mřížky z obrazu původního. Tato situace může nastat třeba při posunu o neceločíselnou hodnotu. Pokud chceme pokračovat v lícování dvou obrazů, je nutné tento problém eliminovat interpolací bodů do původní mřížky. Úkolem interpolace je vypočítat jasové hodnoty bodů nového obrazu pro souřadnice na původní mřížce. [1][3]

K vyřešení tohoto problému je ideální funkce sinc, která má složitý výpočet, tím pádem je velmi časově náročná a proto je neefektivní ji v praxi využívat. V opačném případě zvolení nedostačující funkce může mít za následek vznik zkreslení či artefaktů. Obecně jsou na tyto funkce kladeny dva základní požadavky.

- Dobrá aproximace funkce sinc.
- Malý počet vstupních bodů zasahujících do výpočtu.

Tyto požadavky si protirečí a tudíž je nutné najít vhodný kompromis.

Nejrychlejší a nejsnadnější metoda je interpolace metodou *nejbližšího souseda* (NN). Tato metoda přiřadí interpolované hodnotě hodnotu z nejbližšího bodu vzorkované mřížky, výsledný interpolovaný obraz obsahuje nespojitosti. Tato metoda je sice velmi rychlá, ale hodí se jen pro orientační výpočet. Pokud má být výpočet přesnější, je potřeba zpracovávat obrazy, které jsou dostatečně nadvzorkovány.

Mnohem lepší volbou z hlediska aproximace je metoda *bilineární interpolace*, která je sice výpočetně náročnější, ale přináší podstatně lepší výsledky. Je při ní výrazně potlačen aliasing a vznik nespojitostí, jak tomu nastává v případě interpolace metodou nejbližšího souseda. Nové hodnotě je při výpočtu přiřazena hodnota ze zakřiveného povrchu na odpovídající pozici. Tento povrch je tvořen z hodnot čtyř okolních bodů.

Další možností je použití *bikubických interpolací*. Ty sice přináší ještě lepší výsledky než při použití *bilineární* metody, ale jejich výpočet je podstatně náročnější. [3][6]

1.3 Podobnostní kritéria

Podobnostní kritéria mají za úkol určit míru podobnosti snímků nebo jejich částí. To se využívá právě při lícování snímků, kdy se během slícování pomocí geometrických transformací využívá podobnostní kritérium. Při lícování se běžně používají dva základní typy kritériálních funkcí, které jsou založeny buď na přímém výpočtu z intenzit pixelů, nebo na informačním obsahu obrazů. Výběr vhodného kritéria závisí na datech určené k lícování. Můžeme tedy říci, že když chceme srovnat dva snímky, které mají jiný jasový rozsah nebo rozdílný charakter, je vhodnější použít kritéria, která jsou založená na informačním obsahu snímků. To se může stát při snímání odlišně nasvícených scén nebo při multimodální akvizici téže scény. Pokud tato situace nenastane využíváme k lícování kritéria založená na intenzitách pixelů. [4]

1.3.1 Kritéria založená na intenzitách pixelů

Pro výpočet těchto kritérií je nutné snímky převést na vektory skenováním po řádcích nebo sloupcích. Oba snímky musí být stejně velké (N pixelů) a musí být skenovány stejným typem. [1][3]

Jedno z nejjednodušších kritérií je Euklidovská vzdálenost, která je definována rozdílem bodů porovnávaných snímků. Souřadnice bodů jsou určeny vektory \mathbf{a}, \mathbf{b} .

$$C_E(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = |\mathbf{a}, \mathbf{b}| = \sqrt{\sum_{i=0}^N (a_i - b_i)^2} \quad (1.10)$$

Může nabývat hodnot $<0, \infty>$ Největší shoda bodů je tedy při nulové vzdálenosti a to nastane, pokud jsou vektory totožné. [1][3]

Další kritérium je kosinové kritérium, které oproti předchozímu počítá kosinus úhlu, který je svíraný vektory \mathbf{a}, \mathbf{b} .

$$C_A(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b}}{|\mathbf{a}| |\mathbf{b}|} = \frac{\sum_{i=0}^N a_i b_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^N a_i^2} \sqrt{\sum_{i=0}^N b_i^2}} \quad (1.11)$$

Ačkoliv jsou hodnoty funkce kosinus v intervalu $<-1, 1>$, kvůli nezápornosti jasových hodnot pixelů může kritérium nabývat pouze hodnot $<0, 1>$. Největší shoda je při hodnotě 1, kdy je úhel mezi vektory nulový. Hlavní výhoda použití kosinového kritéria je v tom, že pokud porovnáваме dvojici obrazů, z nichž jeden má lineárně transformovaný jas, vyhodnotí je jako stejné, kdežto jejich euklidovská vzdálenost by byla nenulová. [1] [8]

1.3.2 Kritéria založená na informačním obsahu obrazů

Cílem je nalézt shodu mezi jasovými (barevnými) třídami v obraze A a B. Jedna z metod využívající tato kritéria se nazývá *sdužený histogram*. Míru podobnosti zde určuje kompaktnost histogramu. [4]

Další metoda je výpočet *vzájemné informace (MI)*, která vnímá porovnávané snímky A,B jako náhodné a počítá s pravděpodobnostmi výskytu jasových hodnot v jednotlivých snímcích.

$$I_{AB} = H_A + H_B - H_{AB}, \quad (1.12)$$

Pro její výpočet je nutné znát individuální entropie obou obrazů H_A , H_B a jejich sduženou entropii H_{AB} . Metoda *vzájemné informace hodnotí*, jak moc jsou si snímky podobné. Maximální hodnoty dosáhne v případě, že porovnávané obrazy budou stejné a tedy plně závislé. Vztah pro MI tedy zapíšeme

$$I_{AB} = H_A = H_B = H_{AB}. \quad (1.13)$$

V opačném případě nastane nulová hodnota *vzájemné informace*, pokud budou porovnávané obrazy odlišné a plně nezávislé. [4][5]

2 OPTIMALIZAČNÍ METODY

Cílem optimalizace je nalezení optimálního řešení určitého problému v N -rozměrném prostoru, kde N představuje počet parametrů geometrické transformace. Hledá se taková hodnota parametrů nebo vlastností určitého systému, při kterých kritériální (účelová) funkce dosáhne minimální nebo maximální hodnoty. Hodnota této kritériální funkce určuje kvalitu systému. [3]

V případě lícování je obvyklé, že dimenze prostoru, který prohledáváme jsou mnohem větší než pouze ve dvourozměrném prostoru. Například při afinním lícování třírozměrného obrazu je prohledávací prostor dvanácti-rozměrný a obecně může obsahovat velké množství lokálních minim. Další vlastností lícování je fakt, že při hledání globálního optima nemusí být zaručeno nalezení nejlepší možné podobnosti obrazů. To znamená, že proces optimalizace v lícování obrazů není snadný, musí se vždy přizpůsobit charakteru daného problému.[3]

Obecně můžeme optimalizační metody rozdělit na stochastické a deterministické. Deterministické metody využívají pro zjištění dalšího stavu poznatky zjištěné při předchozí analýze. Stochastické metody jsou založené na teorii pravděpodobnosti, tudíž veškeré procesy jsou náhodné. Mezi nejčastěji používané deterministické optimalizační algoritmy patří například *Newtonova metoda* a *hledání gradientního sestupu*. Mezi stochastické optimalizační algoritmy patří například *kontrolované náhodné prohledávání* a *simulované žíhání*. [1]

Ukončení optimalizační metody můžeme určit několika způsoby. Optimalizační metodu můžeme ukončit například omezením maximálního počtu iterací. To se používá jako prevence proti zacyklení, pokud by stále nebylo dosaženo požadovaného kritéria. Dalším způsobem je sledování, jestli se zlepšuje hodnota kritéria během cyklů. Může nastat situace, kdy po několika po sobě následujících iterací nedochází k výraznější změně hodnoty kritéria a dojde k ukončení optimalizace. Musíme ale brát v potaz, že při tomto typu ukončení hodnota kritéria nemusí být řešení globální, ale pouze lokální.

V následující podkapitole si popíšeme dva optimalizační algoritmy, které se v této práci využívají. Jedná se o *kontrolované náhodné prohledávání* a *genetický algoritmus*.

2.1 Kontrolované náhodné prohledávání

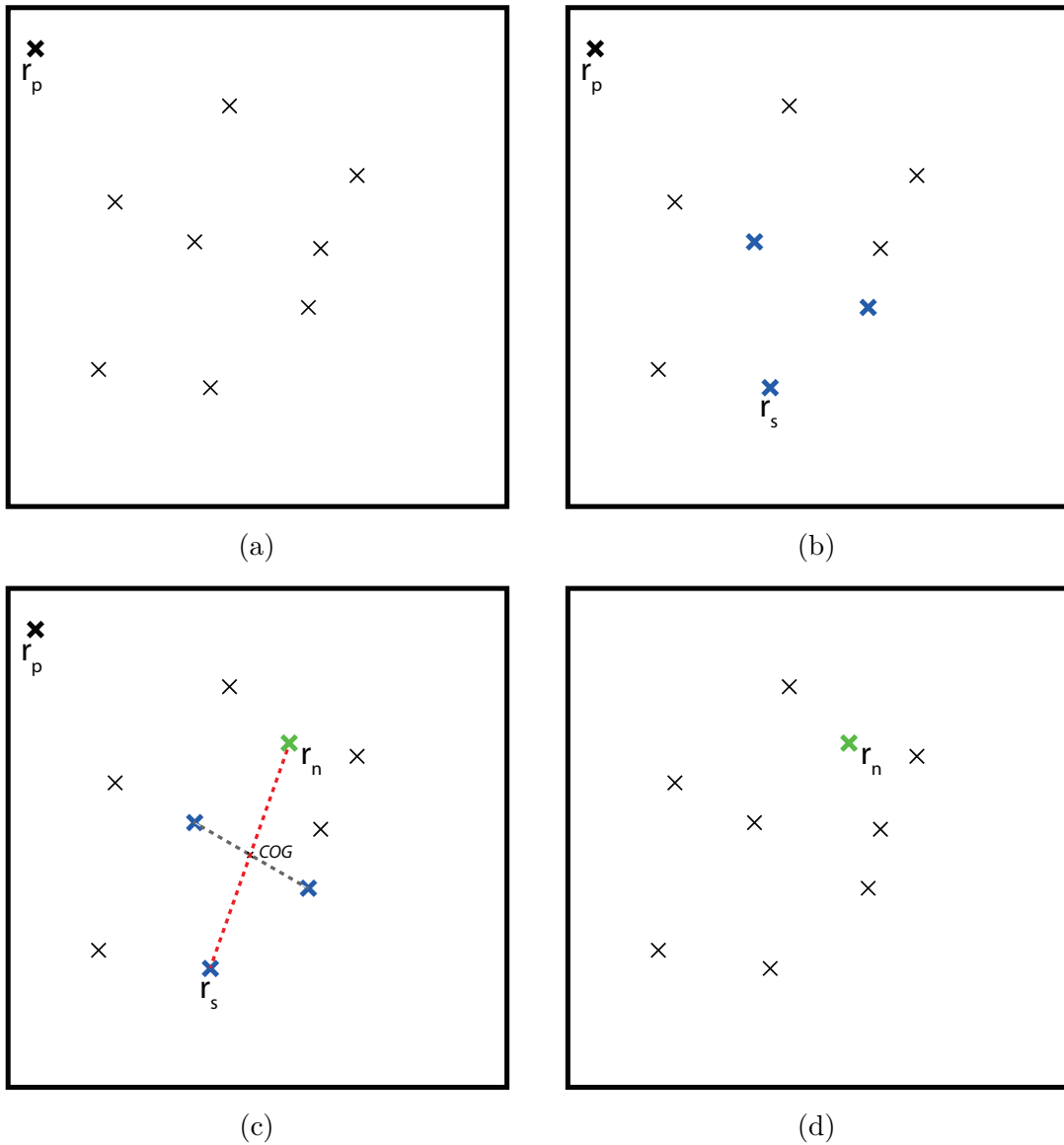
Metoda kontrolovaného náhodného prohledávání (CRS) je jednoduchý stochastický algoritmus, který slouží k hledání globálního extrému. Vychází z práce se skupinou jedinců (populací), kdy každý jedinec je při lícování tvořen vektorem parametrů geometrické transformace.

V principu funguje algoritmus tak, že na jeho začátku je vygenerována populace P , která je tvořena N body v prohledávaném prostoru D (počet parametrů geometrické transformace). Každému z bodu populace je přiřazena hodnota na základě zvoleného globálního podobnostního kritéria v závislosti na referenčním snímku, přičemž každý je snímek porovnáván se snímkem referenčním.[3] [7]

Počet jedinců v populaci by měl být mnohem větší než dimenze prohledávaného prostoru D . Průběh jedné iterace můžeme vidět na Obr. 2.1, každé iteraci je z ohodnocené populace vybrán nejhorší bod \mathbf{r}_p , který se algoritmus snaží nahradit kvalitnějším bodem. Tento bod se nahradí vytvořením tzv. simplexu, při kterém se náhodně vybere $D+1$ bodů z populace a následně probíhají úpravy simplexu. Ze simplexu se odstraní bod \mathbf{r}_s s nejnižší kvalitou $f(s)$, ale souřadnice se ukládají pro další zpracování. Ze zbylých bodů simplexu je vypočtena pozice jeho těžiště COG . Následuje reflexe simplexu, kdy se nejhorší bod překlopí přes těžiště a vzniká nový bod \mathbf{r}_n s kvalitou $f(n)$. Překlopení probíhá podle rovnice

$$\mathbf{r}_n = COG + (COG - \mathbf{r}_s). \quad (2.1)$$

Bod \mathbf{r}_p je nahrazen novým bodem \mathbf{r}_n , pokud je hodnota nového bodu kvalitnější než hodnota bodu \mathbf{r}_p . Pokud nový bod \mathbf{r}_n není kvalitnější než bod \mathbf{r}_p dochází k vygenerování dalšího simplexu dokud není podmínka splněna.[3] [9]



Obr. 2.1: Průběh nahrazení nejhoršího bodu v CRS

(a) Určení nejhoršího bodu v populaci r_p . (b) Vytvoření simplexu a zvolení nejhoršího bodu r_s . (c) Vznik nového bodu r_n přenesením bodu r_s přes těžiště zbývajících bodů simplexu. (d) Nahrazení bodu r_p bodem r_n .

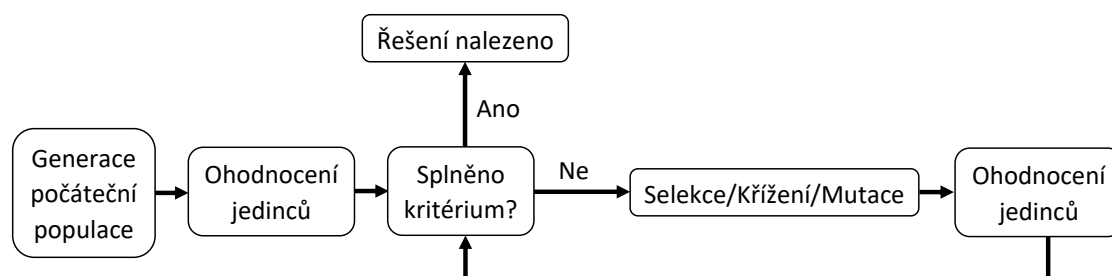
Dalšími podmínkami k zastavení algoritmu může být dosažení maximální oblasti, ve které se nacházejí všechny body z vygenerované populace nebo dosažení maximálního počtu iterací.[3] [7]

2.2 Genetický algoritmus

Patří mezi nejznámější evoluční algoritmy, které se používají k nalezení optimálního řešení. Zdroje použité při zpracování této kapitoly jsou [10] a [11].

Evoluční algoritmy jsou založeny na biologických principech, které si vyskytují v přírodě, k získání požadovaného výsledku je využita evoluce. Dochází u ní k vytváření lepší populace. Tato kapitola

Na začátku algoritmu je vygenerována populace, ve které má její každý člen přidělené geny (parametry geometrické transformace). Jedinci jsou v závislosti na svých parametrech ohodnoceny podle zvolené kritériální funkce. K vytvoření jedince do nové populace je potřeba vybrat vhodné rodiče - selekce. Rodiče se volí podle hodnoty kritériální funkce. Dojde ke křížení genů obou rodičů a vznikne nový jedinec. Ten je ještě podroben mutaci, při které dojde k dodatečné změně genů pomocí náhodné funkce. Každý nově vzniklý je ohodnocen podle kritériální funkce. Starou populaci nahradí nová, u které se celý tento cyklus opakuje do doby, než je splněno požadované kritérium.



Obr. 2.2: Obecný průběh pro genetický algoritmus

Selekce

Slouží k výběru silnějších členů populace, kteří se mohou stát rodiči pro novou populaci. Uvedeme si například tyto druhy selekce.

- **Vážená ruleta**

Každý jedinec dostává na pomyslné ruletě svůj interval. Velikosti intervalů jsou rozděleny poměrově v závislosti na hodnotách kritéria.

- **Souboj**

Vstupují do něj minimálně dva náhodně vybraní jedinci a vítězí ten s vyšší hodnotou kritéria.

- **Ořezávání**

Při tomto druhu selekce dojde nejprve k seřazení jedinců podle jejich hodnoty. Poté znemožníme jedincům s nízkou hodnotou možnost stát se rodiči.

Křížení

Při křížení dochází k vytvoření nového jedince (potomka) kombinací genů obou zvolených rodičů.

Mutace

Mutace je poslední částí při tvorbě nového jedince. S určitou pravděpodobností při ní dojde k částečné změně genů potomka. Mutace hraje v tomto algoritmu důležitou roli, zabraňuje totiž jeho uvíznutí v lokálním extrému.

3 POPIS PROGRAMU

V této kapitole se budeme věnovat programu zhotovenému podle zadání. Jedná se o program vytvořený v prostředí MATLAB, který vykonává stabilizaci videa pomocí optimalizačních algoritmů CRS a GA. Popíšeme si jednotlivé soubory, ze kterých je program tvořen a ukážeme si jeho diagramy. V závěru této kapitoly je popsáno také vytvořené GUI pro tento program.

Celý program je tvořen těmito soubory.

- `ukazka.m`
- `stabil_CRS.m`
- `Ukazka_gen.m`
- `Genetic.m`
- `evolve.m`
- `mutualInfo.m`
- `GUI_stabilizace.m`

Soubor `mutualInfo.m` využívají oba algoritmy CRS i GA. Pomocí něj se vypočítá normalizovaná vzájemná shoda dvou obrazů pomocí jejich histogramů. Jedná se o externí funkci, kterou vytvořil Mohammad Haghghat. Funkce obsahuje kontrolu vstupů, výpočet histogramů, výpočet entropií obrazů a výpočet vzájemné shody.

Ostatní soubory si popíšeme v následujících částech práce, které se věnují struktuře každého algoritmu zvlášť.

3.1 Struktura programu - CRS

Nejdříve si popíšeme parametry pro tento algoritmus, z jakých souborů se program skládá a jaký je účel každého ze souborů. Průběh programu je zde také vyobrazen pomocí diagramů.

Parametry algoritmu CRS

- **Velikost populace** - určuje počet vygenerovaných jedinců pro stabilizaci
- **Maximální počet iterací** - udává maximální počet iterací výpočtu
- **Rozdíl kritérií** - prevence proti zacyklení, kontroluje rozdíl posledních dvou kritérií
- **Kritérium kvality** - udává požadovanou kvalitu stabilizace
- **Procento obrazu** - udává oblast, ve které se budou jedinci populace generovat omezením vertikální a horizontální osy
- **Úhel rotace** - udává oblast, ve které se budou jedinci populace generovat omezením rozsahu úhlu

Algoritmus CRS je v programu tvořen dvěma soubory.

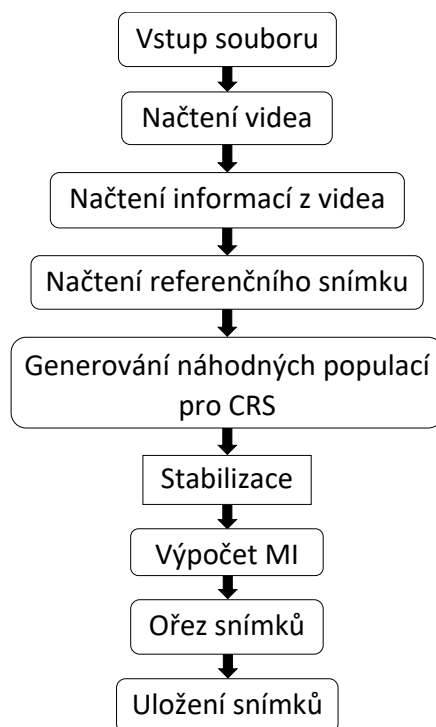
- `ukazka.m`
- `stabil_CRS.m`

Soubor `ukazka.m` slouží k manuálnímu spuštění stabilizace a slouží také k přípravě MATLABu. Volíme zde, jaký soubor má být stabilizován. Stabilizaci vykonává použitím funkce `stabil_CRS.m`. Dále obstarává vyčištění okna nebo proměnných a zavření grafů. Obsahuje také zpracování statistik videa.

Soubor `stabil_CRS.m` je funkce, která pro zadaný název souboru vrací název stabilizovaného souboru a statistiky zpracování. Jednoduše řečeno, provádí stabilizaci vloženého videa. Je možné zde nastavit parametry stabilizace obrazu a také algoritmus stabilizace CRS. Probíhá zde načtení referenčního snímku a získání informací o videu (rozlišení, počet snímků), generování náhodných čísel (populace). Je zde také smyčka pro vykonání stabilizace, ve které je nejprve vypočítáno kosinové kritérium pro jednotlivé snímky a posouzeno, zda má dojít ke stabilizaci. Pak je ohodnocen každý člen populace kosinovým kritériem a následuje iterační smyčka. Dojde k vytvoření simplexu a k výpočtu konečné hodnoty kosinového kritéria pro daný snímek (podrobnější popis naleznete v podkapitole 2.1), proběhne konečná transformace obrazu a uložení dat do výstupního souboru. Poté následuje už jen ořez a uložení stabilizovaného videa. Celý proces je zobrazen také na obrázcích 3.1 a 3.2.

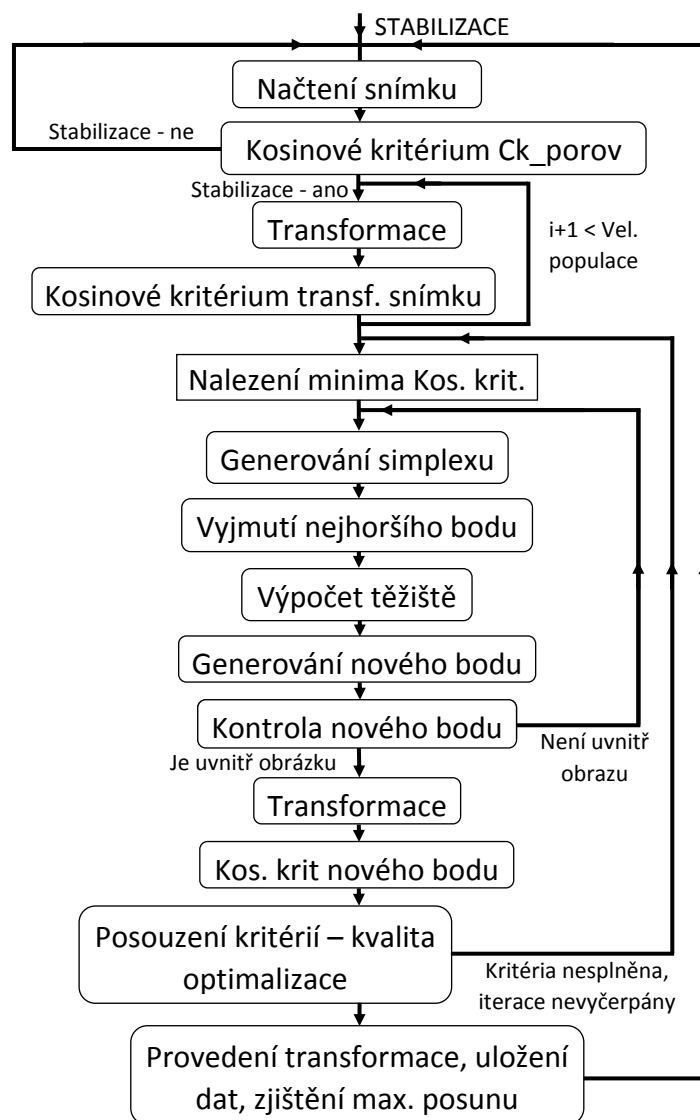
3.1.1 Diagramy programu - CRS

V této části práce je zobrazen průběh algoritmizace programu pomocí dvou diagramů. Na obrázku 3.1 můžeme vidět celkový průběh a při spuštění programu. Průběh stabilizace je již popsán v předchozí podkapitole 3.1



Obr. 3.1: Diagram pro globální CRS algoritmus

Blok **Stabilizace** je detailněji zobrazen na obrázku 3.2. Při spuštění programu se tento proces odehrává v souboru `stabil_CRS.m`.



Obr. 3.2: Diagram pro algoritmus CRS na stabilizaci snímku

3.2 Struktura programu - GA dodělat

Také u genetického algoritmu si projdeme jeho parametry, strukturu v programu i diagramy .

Parametry algoritmu GA

- Velikost populace - určuje počet vygenerovaných jedinců pro stabilizaci
- Počet replikací - udává počet replikací z generace na generaci
- Pravděpodobnost mutace - udává, s jakou pravděpodobností podstoupí jedinec mutaci

- **Maximální počet mutací** - udává maximální počet cyklů mutace pro počáteční populaci
- **Maximální počet iterací** - udává, maximální počet vytvoření úplně nové počáteční populace pro jeden snímek, pokud nebude nalezeno řešení s předchozí populací
- **Kritérium kvality** - udává požadovanou kvalitu stabilizace
- **Procento obrazu** - udává oblast, ve které se budou jedinci populace generovat omezením vertikální a horizontální osy
- **Úhel rotace** - udává oblast, ve které se budou jedinci populace generovat omezením rozsahu úhlu

Algoritmus GA je v programu tvořen třemi soubory.

- `Ukazka_gen.m`
- `Genetic.m`
- `evoluce.m`

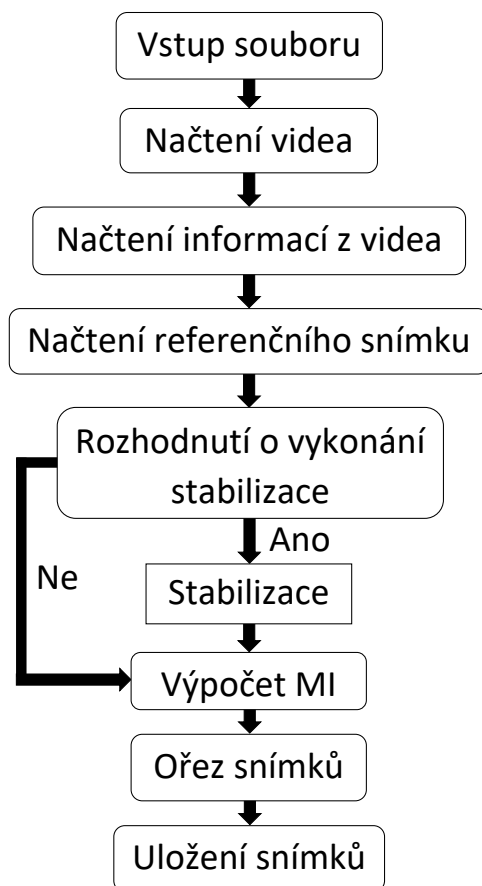
Soubor `Ukazka_gen.m` se obdobně jako u CRS souboru `ukazka.m` používá k manuálnímu spuštění stabilizace pomocí algoritmu GA použitím funkce `Genetic.m`. Slouží také k přípravě MATLABu. Volíme zde, jaký soubor má být stabilizován. Dále obstarává vyčištění okna nebo proměnných a zavření grafů. Obsahuje také zpracování statistik videa.

Soubor `Genetic.m` Po spuštění této funkce dojde k získání informací o videu, alokaci paměti, ohodnocení snímku a rozhodnutí, zda má být stabilizován. Pokud ano, odkáže se na funkci `evoluce.m`, která obstarává generování nových jedinců. Dále funkce `Genetic.m` provádí transformaci snímku podle nalezeného řešení, ořez černých pruhů a uložení do nového video souboru.

Soubor `evoluce.m` V této funkci dojde nejprve ke generaci počáteční populace, následně se ohodnotí každý její člen. Pokud není splněno kritérium, dochází k tvorbě nových jedinců. Nejprve vstupují dva náhodně vybraní jedinci do souboje, přičemž silnější jedinec (s vyšší hodnotou kritéria) nahradí slabšího. Tento nově vzniklý jedinec je dále vystaven mutaci. O tom zdali mutace proběhne rozhoduje parametr **Pravděpodobnost mutace**. Pokud jsme nastavili parametr **Počet replikací**, je v této fázi provedeno nakopírování nejlepšího jedince do nové populace. Tato vzniklá nová populace je znovu ohodnocena. Pokud je splněno kritérium, je nalezeno řešení a jedinec je vrácen funkci `Genetic.m`, v opačném případě je celý cyklus opakován do vyčerpání počtu iterací.

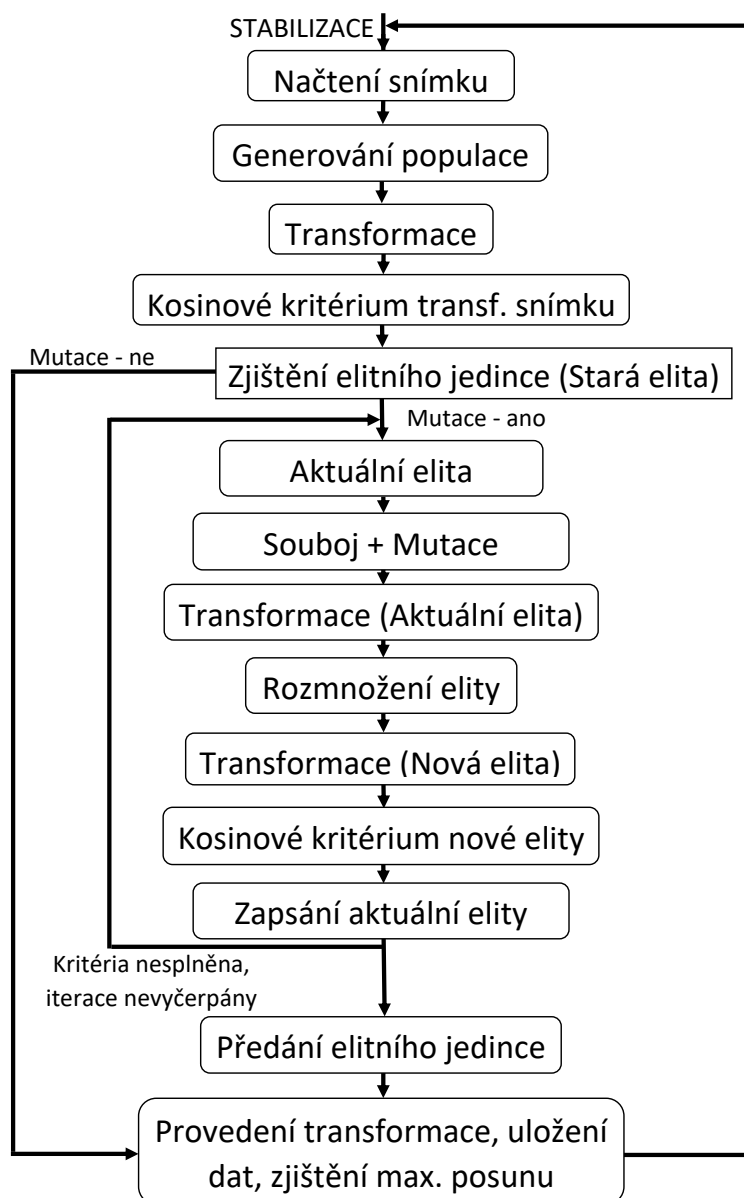
Proces souborů `Genetic.m` a `evoluce.m` je také na obrázcích 3.3 a 3.4

3.2.1 Diagramy programu - GA



Obr. 3.3: Diagram pro globální GA algoritmus

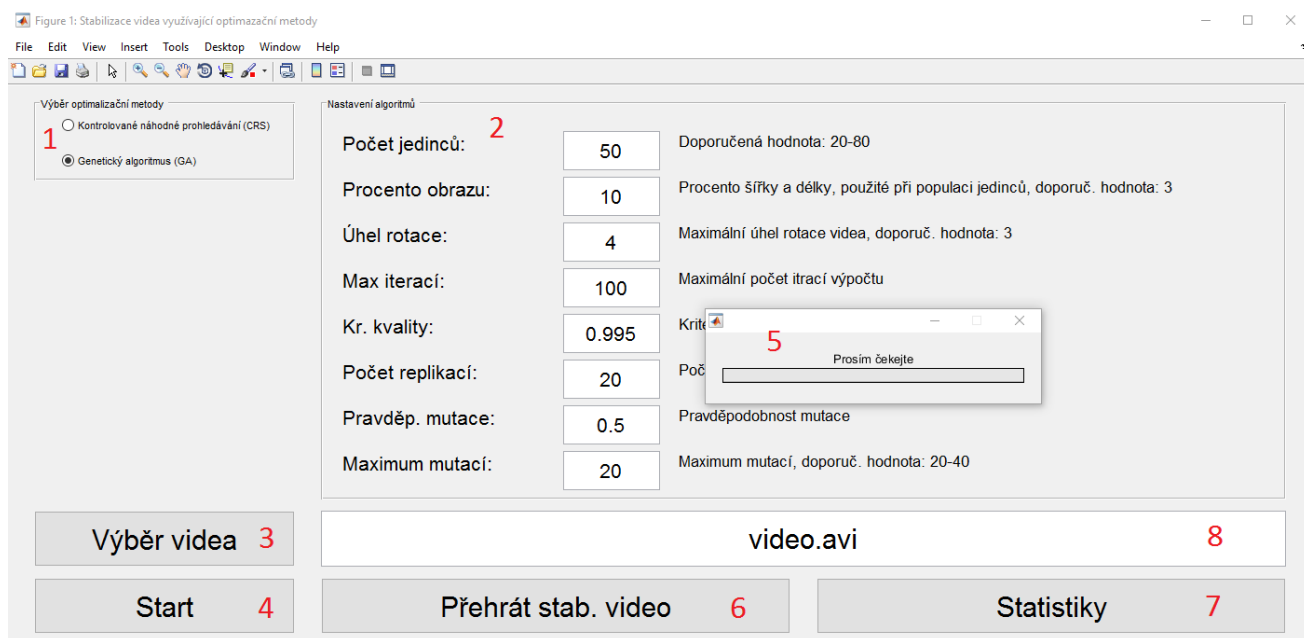
Blok **Stabilizace** je podrobněji zobrazen na obrázku 3.4. Při spuštění programu se tento proces odehrává v souboru `evoluce.m`.



Obr. 3.4: Diagram pro algoritmus GA na stabilizaci snímku

3.3 GUI

V této části práce si stručně popíšeme grafické uživatelské rozhraní (GUI) vytvořeného programu, které dostaneme spuštěním souboru `GUI_stabilizace.m`.



Obr. 3.5: Grafické uživatelské rozhraní

Popis jednotlivých položek GUI na obrázku 3.5.

1. Volba optimalizační metody, která bude použita na stabilizaci.
2. Oblast pro nastavení parametrů zvoleného algoritmu.
3. Tlačítko pro výběr videa určeného ke stabilizaci.
4. Tlačítko ke spuštění stabilizace.
5. Ukazatel aktuálního průběhu stabilizace.
6. Tlačítko k přehrání stabilizovaného videa.
7. Tlačítko k zobrazení grafu MI původního a stabilizovaného videa.
8. Název videa zvoleného ke stabilizaci.

4 VÝSLEDKY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V této kapitole se zaměříme na testování programu určeného ke stabilizaci videa, který byl vytvořen v prostředí MATLAB. Nejprve si uvedeme základní informace o videu a také si popíšeme průběhy měření u obou testovaných algoritmů. Dále si ukážeme naměřené výsledky a vyhodnotíme je.

4.1 Průběh měření

Z důvodu časové náročnosti výpočtu této stabilizace bylo zvoleno kratší video s nízkou snímkovou frekvencí a poměrně malou mírou rozdílů mezi jednotlivými snímky. V tabulce 4.1 můžeme vidět základní parametry testovaného videa.

Délka videa:	3s
Počet snímků:	75
Horizontální počet pixelů:	320
Vertikální počet pixelů:	240

Tab. 4.1: Parametry videa.

Výsledky v následující části práce jsou získány vždy z třiceti provedených měření. Mezi naměřené hodnoty patří doba trvání procesu stabilizace videa a míra vzájemné podobnosti (MI) ostatních snímků se snímkem prvním. U všech měření byly pro oba optimalizační algoritmy nastaveny tyto hodnoty.

Nastavení kosinového kritéria:	0,995
Procento obrazu:	2,5
Úhel rotace:	4

Tab. 4.2: Nastavení stejných parametrů kvality stabilizace pro oba algoritmy.

Při této hodnotě kosinového kritéria lze již stabilizaci opticky pozorovat a proces stabilizace je časově únosný. Určen byl také rozsah, ve kterém se mají jedinci populace generovat, nastavení správné hodnoty pomůže snížit dobu trvání stabilizace.

Všechny naměřené hodnoty byly statisticky zpracovány podle následujících rovnic. Jedná se o rovnice pro výpočet aritmetického průměru

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

a pro výpočet směrodatné odchylky

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.2)$$

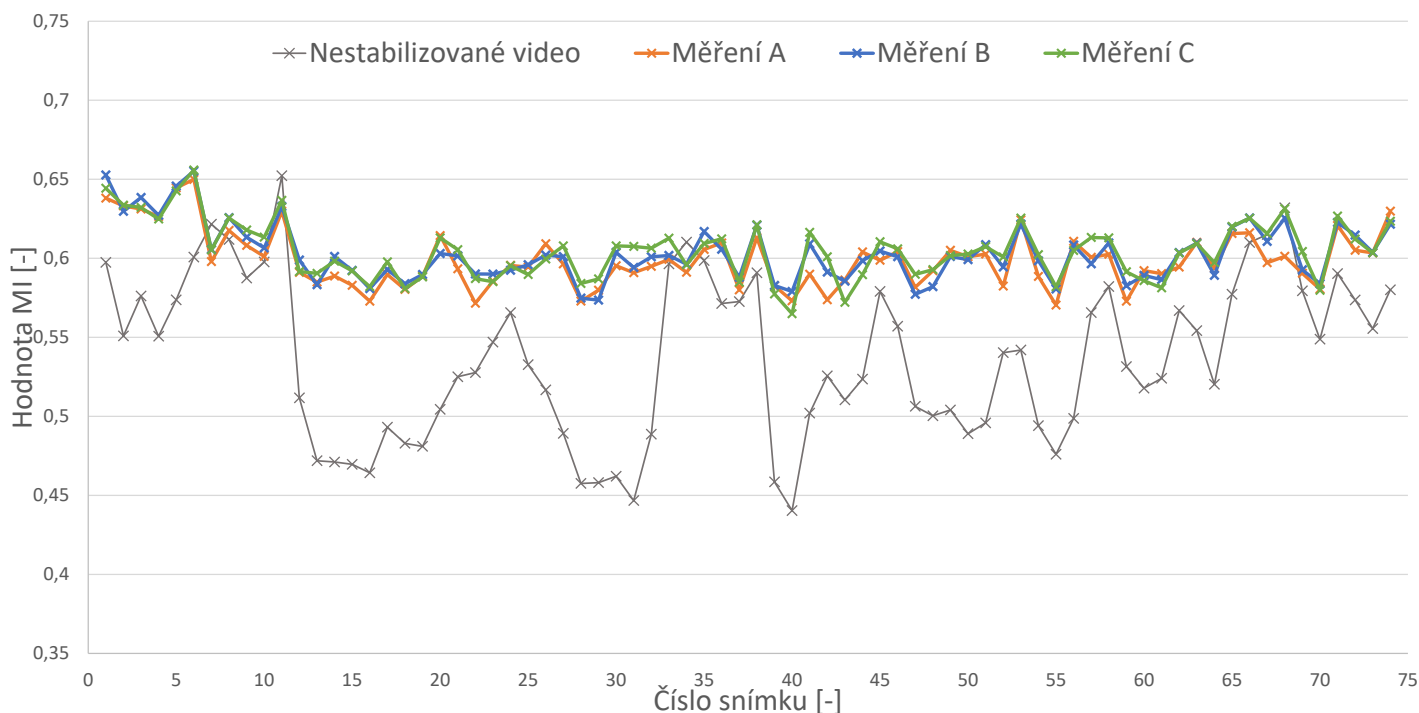
4.1.1 Měření algoritmu CRS

Mimo již zmíněné parametry v tabulce 4.2 můžeme u tohoto algoritmu nastavovat ještě tři parametry. Parametr **Velikost populace** zde bude hrát nejvýznamnější roli, proto bylo provedeno měření se třemi různými nastaveními. Zbylé dva parametry **Maximální počet iterací** a **Rozdíl kritérií** jsou zde jako prevence proti zacyklení, u kterých byly zvoleny takové hodnoty, aby byla dosažena požadovaná kvalita.

Nastavení:	A	B	C
Velikost populace:	20	50	80
Maximální počet iterací na snímek:	1000	1000	1000
Rozdíl posledních dvou iterací:	0,0005	0,0005	0,0005

Tab. 4.3: Nastavení kvality stabilizace CRS pro měření č. 1

Průměrný čas stabilizace pro nastavení A je $t = (141,915 \pm 11,358)$ s., pro nastavení B $t = (264,067 \pm 20,294)$ s. a pro nastavení C $t = (367,729 \pm 23,199)$ s.



Obr. 4.1: Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním - měření č. 1

Vypočtené hodnoty z provedeného měření naleznete v příloze A.1.

4.1.2 Měření algoritmu GA

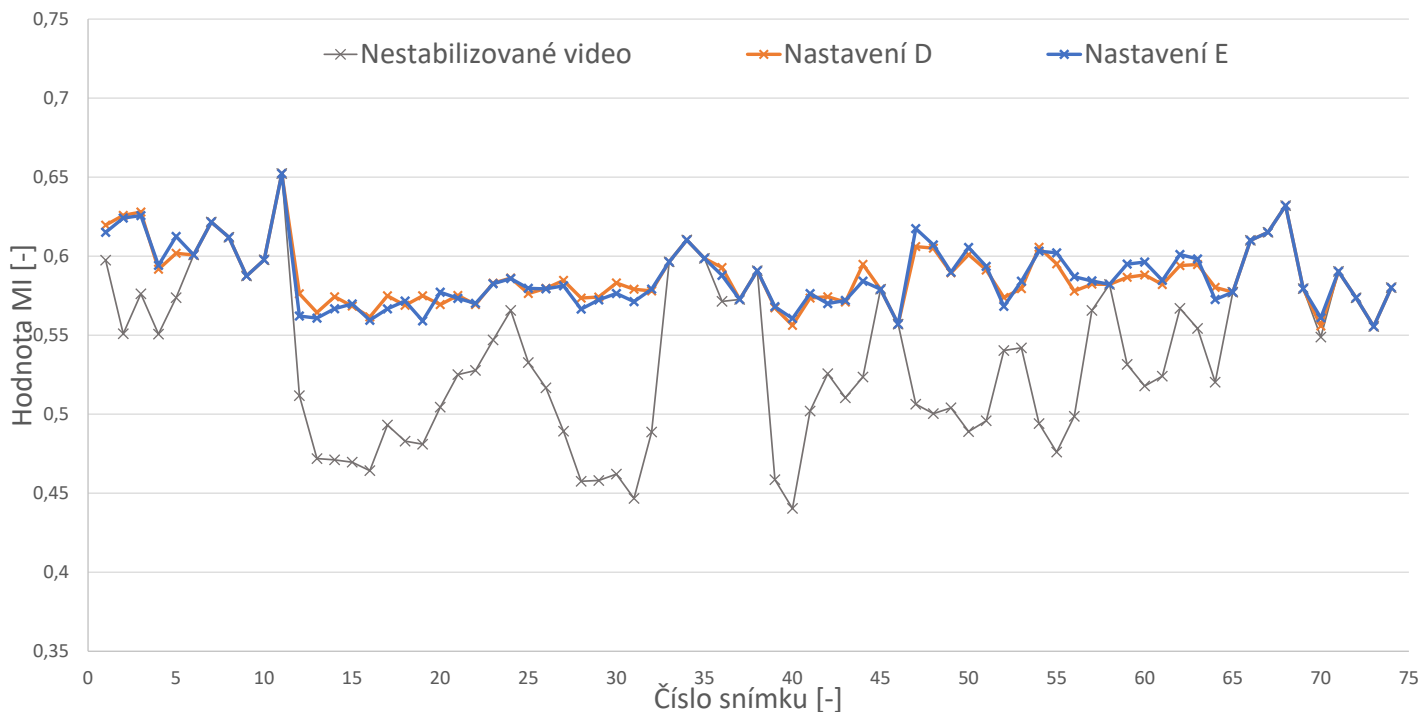
U tohoto algoritmu máme v porovnání s CRS více parametrů na nastavení. Budeme proto zkoumat citlivost nastavení jednotlivých parametrů a jaký mají dopad na stabilizaci videa.

Vliv velikosti populace na stabilizaci

Nastavení:	D	E
Velikost populace:	30	100
Počet replikací elitního jedince:	15	50
Pravděpodobnost mutace:	0,8	0,8
Maximální počet mutací:	7	7
Maximální počet iterací:	25	25

Tab. 4.4: Nastavení stabilizace GA pro měření č. 2

Průměrný čas stabilizace pro nastavení D je $t = (763,909 \pm 294,832)$ s. a pro nastavení E $t = (943,141 \pm 151,793)$ s.



Obr. 4.2: Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním pro měření č. 2

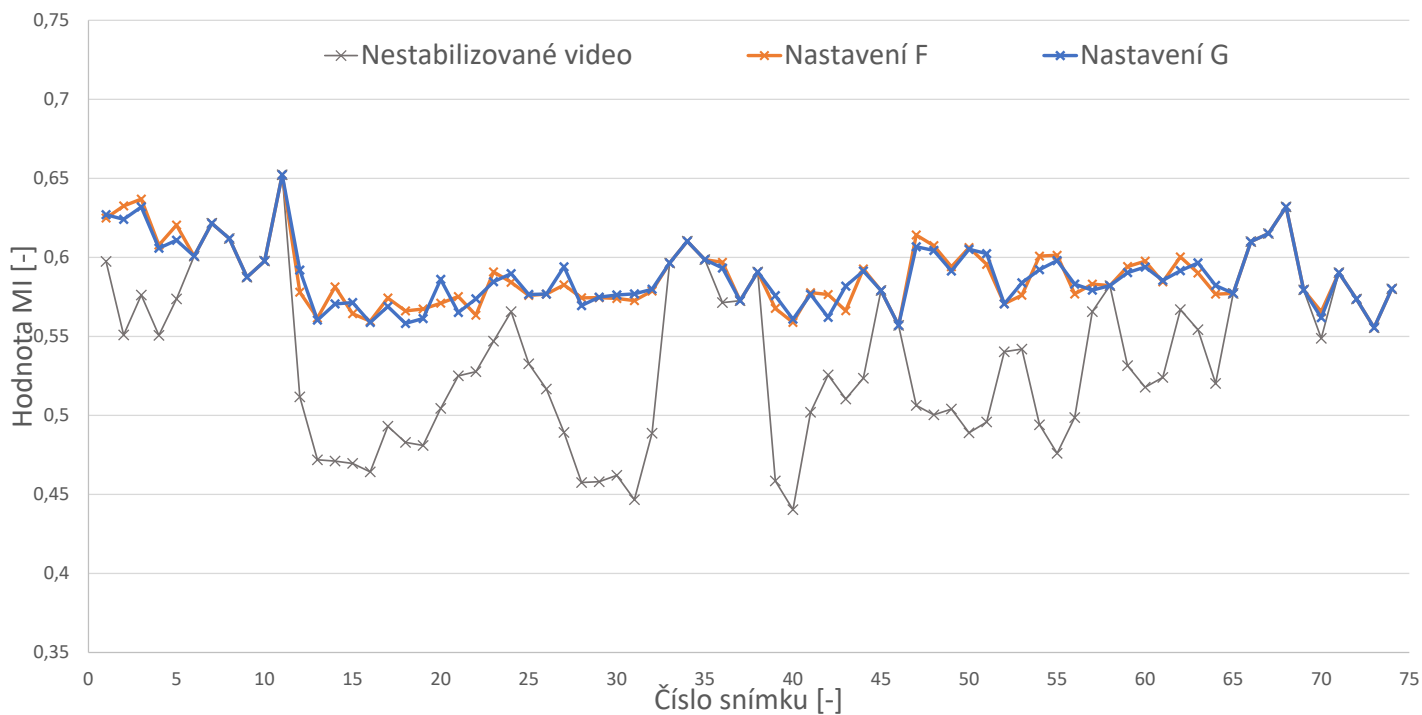
Vypočtené hodnoty z provedeného měření naleznete v příloze A.2.

Vliv počtu replikací elitního jedince na stabilizaci

Nastavení:	F	G
Velikost populace:	50	50
Počet replikací elitního jedince:	15	40
Pravděpodobnost mutace:	0,8	0,8
Maximální počet mutací:	7	7
Maximální počet iterací:	25	25

Tab. 4.5: Nastavení stabilizace GA pro měření č. 3

Průměrný čas stabilizace pro nastavení F je $t = (875,146 \pm 170,031)$ s. a pro nastavení G $t = (712,759 \pm 79,596)$ s.



Obr. 4.3: Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním pro měření č. 3

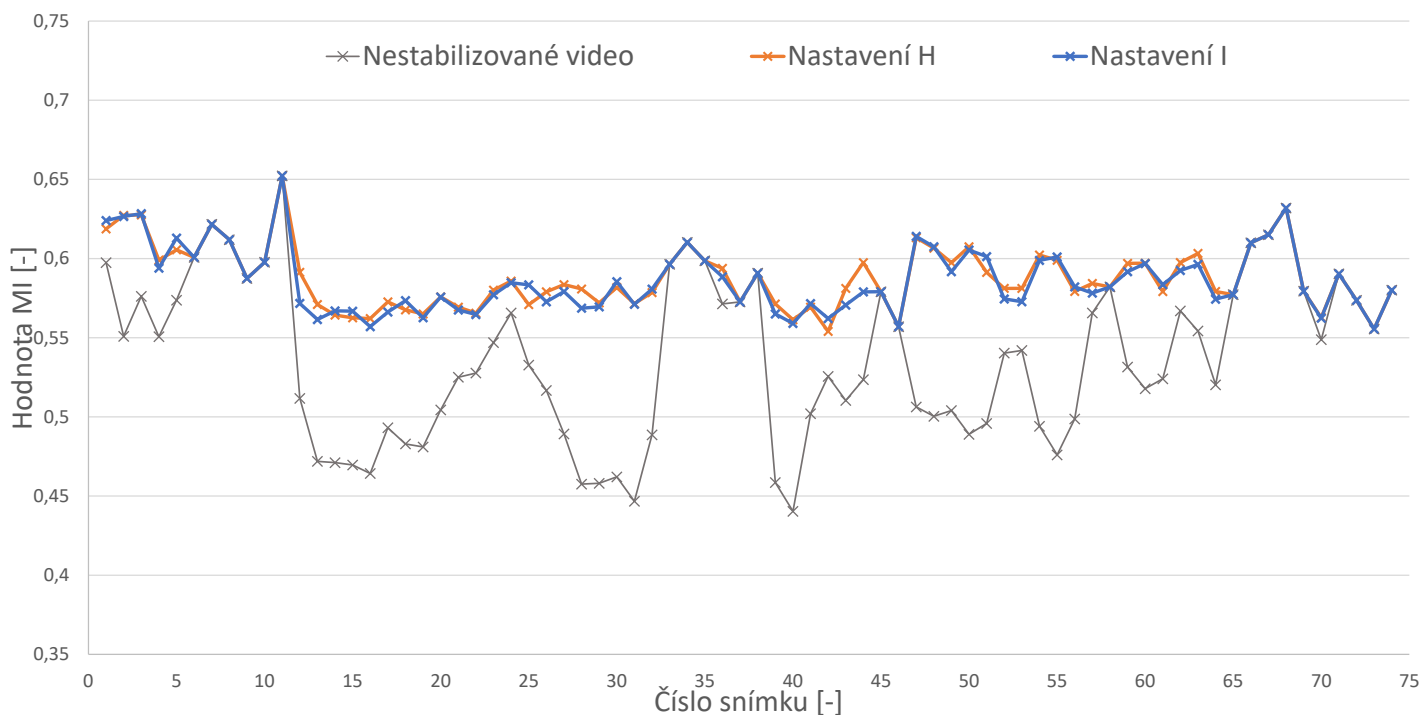
Vypočtené hodnoty z provedeného měření naleznete v příloze A.3.

Vliv pravděpodobnosti mutace na stabilizaci

Nastavení:	H	I
Velikost populace:	50	50
Počet replikací elitního jedince:	25	25
Pravděpodobnost mutace:	0,4	0,8
Maximální počet mutací:	7	7
Maximální počet iterací:	25	25

Tab. 4.6: Nastavení stabilizace GA pro měření č. 4.

Průměrný čas stabilizace pro nastavení H je $t = (1159,347 \pm 141,440)$ s. a pro nastavení I $t = (862,160 \pm 133,696)$ s.



Obr. 4.4: Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním pro měření č. 4

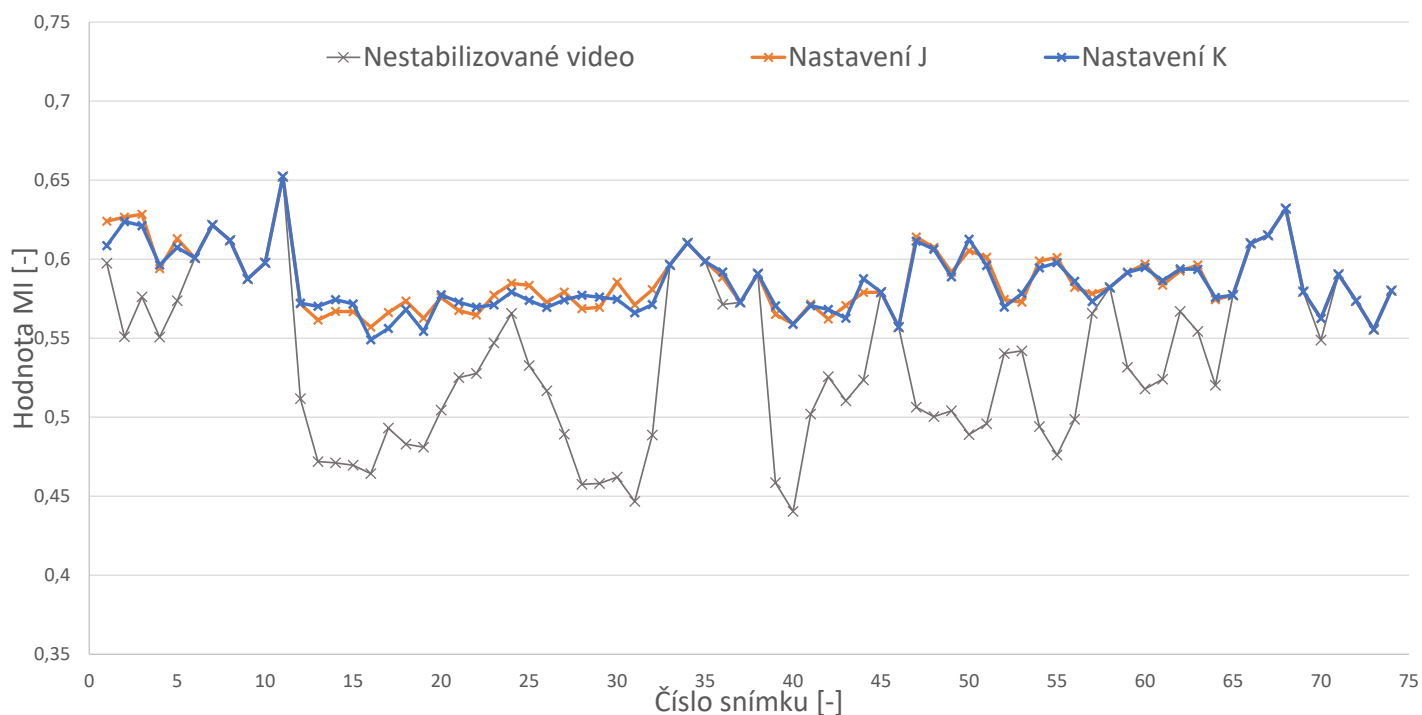
Vypočtené hodnoty z provedeného měření naleznete v příloze A.4.

Vliv maximálního počtu mutací/iterací na stabilizaci

Nastavení:	J	K
Velikost populace:	50	50
Počet replikací elitního jedince:	25	25
Pravděpodobnost mutace:	0,8	0,8
Maximální počet mutací:	7	25
Maximální počet iterací:	25	7

Tab. 4.7: Nastavení stabilizace GA pro měření č. 5

Průměrný čas stabilizace pro nastavení J je $t = (862,160 \pm 133,696)$ s. a pro nastavení K $t = (1139,674 \pm 130,656)$ s.



Obr. 4.5: Míra podobnosti jednotlivých snímků se snímkem prvním pro měření č. 5

Vypočtené hodnoty z provedeného měření naleznete v příloze A.5.

4.1.3 Zhodnocení výsledků pro CRS

Z naměřených výsledků můžeme konstatovat, že u algoritmu CRS je z časového hlediska vhodné zvolit co nejmenší možnou hodnotu velikosti populace. Neztratíme tím na kvalitě stabilizace, protože hodnoty MI v grafu 4.1 jsou téměř totožné. Musíme ovšem brát v potaz to, že při zvolení příliš nízké hodnoty může nastat to, že algoritmu se nepodaří nalézt požadované řešení.

4.1.4 Zhodnocení výsledků pro GA

Také u GA nám správné nastavení parametrů pomůže zkrátit dobu trvání stabilizace.

- Stejně jako u CRS i GA dokončí stabilizaci rychleji při zvolení menší hodnoty velikosti populace.
- Další zlepšení nastane, pokud ve větším počtu vložíme elitního jedince do nové populace.
- Nejcitlivější je tento algoritmus na hodnotu pravděpodobnosti, s jakou bude na jedince populace použita mutace. Při nastavení vyšší hodnoty dojde k nejvýraznějšímu snížení doby trvání.
- Z posledního měření vyplývá, že je výhodnější vygenerovat úplně novou počáteční populaci, pokud nedojde k nalezení řešení po několika cyklech mutace.

Stále musíme brát ohled na nastavení rozumných hodnot parametrů. Pokud nastavíme extrémní hodnoty, nemusí dojít k nalezení hledaného řešení.

Velké rozdíly v časech vykonávání stabilizace jsou způsobeny velkou nahodilostí tohoto algoritmu.

Na grafech 4.2, 4.3, 4.4 a 4.5 můžeme vidět, že kvalita stabilizace zůstává při různých nastaveních parametrů téměř totožná.

4.1.5 Srovnání algoritmů

I přes poměrně dlouhou dobu trvání stabilizace je pro naše testované video výhodnější použít algoritmus CRS, který je i tak oproti GA méně časově náročný. Kvalitou oproti GA neztratíme a pro uživatele je i nastavení parametrů CRS jednodušší.

5 ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla nejprve provedena literární rešerše týkající se lícování obrazu. Konkrétně je zde popsáno samotné lícování a jeho obecný proces, geometrické transformace a jejich základní rozdělení do typů. Dále se práce věnuje interpolačním metodám, podobnostním kritériím a jako poslední optimalizačním metodám. Jmenovitě pak kontrolovanému náhodnému prohledávání a genetickému algoritmu.

Druhá část práce se věnuje programu vytvořenému v prostředí MATLAB, který ke stabilizaci obrazu využívá algoritmus kontrolovaného náhodného prohledávání a genetický algoritmus. Jsou zde popsány jednotlivé soubory programu, ukázány jejich diagramy a popsáno GUI programu.

V další části této práce bylo provedeno statistické měření programu. Je zde popsáno, jakými parametry můžeme měnit kvalitu stabilizace, jak měření probíhalo a jaké bylo nastavení pro výslednou kvalitu stabilizace. Protože se jedná o poměrně časově náročný proces, bylo použito pouze krátké video s nízkou snímkovou frekvencí i nízkým rozlišením. Z několika provedených stabilizací jednoduché smyčky byly statisticky zpracovány naměřené hodnoty pro dobu trvání stabilizace a zlepšení oproti původnímu nestabilizovanému videu. Zpracované hodnoty byly poté pro přehlednost znázorněny pomocí grafů, ze kterých lze tyto hodnoty jednoduše vyčíst.

Obě metody dovedou úspěšně stabilizovat jednoduchou videosekvenci. Z naměřených výsledků je patrné, že použití algoritmu CRS je pro naše testované video lepší, ale ani jedna z optimalizačních metod není vhodná k vykonávání stabilizace videa. Jejich časová náročnost je příliš vysoká na to, aby se dala v praxi uplatnit.

LITERATURA

- [1] JAN, J. *Medical image processing, reconstruction and restoration: concepts and methods*. Boca Raton: Taylor, 2006, ISBN 0-8247-5849-8, 730 s.
- [2] ZITOVÁ B., FLUSSER J. *Image registration methods: A survey. Image and Vision Computing* Boca Raton: Taylor & Francis, 2003, roč. 21, č. 11, s. 977–1000. Dostupné z URL: <<http://library.utia.cas.cz/prace/20030125.pdf>>.
- [3] WALEK, P., LAMOŠ, L., JIŘÍ, J. *Analýza biomedicínských obrazů* [skripta]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Brno, 2015, 178 s.
- [4] HAJNAL, Joseph V., D. HAWKES, Derek L. HILL *Medical image registration* Boca Raton: CRC Press, 2001, ISBN 08-493-0064-9, 382 s.
- [5] MAES, F., COLLIGNON, A., VANDERMEULEN, D. *Multimodality Image Registration by Maximization of Mutual Information. IEEE Transaction on Medical Imaging* 16, 2, 1997, ISBN 08-493-0064-9, 187 - 198 s.
- [6] LEHMANN, T. M., C. GÖNNER, K. SPITZER *Survey: interpolation methods in medical image processing. IEEE transactions on medical imaging*, 1999, roč. 18, č. 11: s. 1049-1075, ISSN 0278-0062.
- [7] PRICE, W. L. *A controlled random search procedure for global optimisation. The Computer Journal*, 1977, roč. 20, č. 4: s. 367-670, ISSN 0010-4620.
- [8] MODERSITZKI, J. *Numerical Methods for Image Registration* Oxford University Press, 2004, USA, ISBN: 0-1985-2841-8.
- [9] TVRDÍK, J. *Algoritmus řízeného náhodného prohledávání a alternující heuristiky*. Automa, č. 1, 2002, s. 54-57.
- [10] GOLDBERG, David E. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., c1989. ISBN 9780201157673.
- [11] ZELINKA, I. *Aplikace umělé inteligence*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. ISBN 978-80-7318-898-6.
- [12] DOŇAR, B., ZAPLATÍLEK, K. *MATLAB pro začátečníky, 1. díl* Ben, technická literatura, Praha. ISBN: 80-730-175-6.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

CRS	kontrolované náhodné prohledávání – Controlled Random Search
COG	těžiště – Centre Of Gravity
NN	nejbližší soused – Nearest Neighbour
MI	vzájemná informace – Mutual Information
GUI	grafické uživatelské rozhraní – Graphical User Interface
GA	genetický algoritmus – Genetic Algorithm

SEZNAM PŘÍLOH

A	Vypočítané hodnoty z měření	44
A.1	Hodnoty pro měření č. 1	44
A.2	Hodnoty pro měření č. 2	45
A.3	Hodnoty pro měření č. 3	46
A.4	Hodnoty pro měření č. 4	47
A.5	Hodnoty pro měření č. 5	48
B	Obsah přiloženého CD - doplnit	49

A VYPOČÍTANÉ HODNOTY Z MĚŘENÍ

A.1 Hodnoty pro měření č. 1

Snímek	Nastavení A		Nastavení B		Nastavení C		Snímek	Nastavení A		Nastavení B		Nastavení C	
	MI	SO	MI	SO	MI	SO		MI	SO	MI	SO	MI	SO
2	0,6381	0,0336	0,6527	0,0401	0,6443	0,0427	39	0,6131	0,0217	0,6210	0,0146	0,6212	0,0118
3	0,6332	0,0296	0,6297	0,0258	0,6337	0,0275	40	0,5827	0,0241	0,5828	0,0213	0,5775	0,0246
4	0,6312	0,0232	0,6385	0,0172	0,6322	0,0204	41	0,5731	0,0213	0,5790	0,0204	0,5649	0,0220
5	0,6265	0,0173	0,6272	0,0229	0,6248	0,0231	42	0,5899	0,0253	0,6091	0,0163	0,6164	0,0118
6	0,6446	0,0186	0,6457	0,0221	0,6427	0,0246	43	0,5738	0,0169	0,5913	0,0232	0,6010	0,0159
7	0,6500	0,0259	0,6552	0,0281	0,6559	0,0247	44	0,5863	0,0195	0,5855	0,0231	0,5721	0,0274
8	0,5979	0,0250	0,6055	0,0209	0,6054	0,0271	45	0,6040	0,0190	0,5985	0,0248	0,5896	0,0279
9	0,6176	0,0254	0,6257	0,0225	0,6255	0,0180	46	0,5987	0,0189	0,6046	0,0152	0,6105	0,0103
10	0,6081	0,0205	0,6134	0,0207	0,6179	0,0170	47	0,6043	0,0179	0,6010	0,0172	0,6060	0,0170
11	0,6012	0,0263	0,6066	0,0235	0,6134	0,0205	48	0,5817	0,0226	0,5772	0,0199	0,5898	0,0201
12	0,6297	0,0226	0,6328	0,0234	0,6366	0,0162	49	0,5921	0,0250	0,5820	0,0233	0,5928	0,0189
13	0,5911	0,0235	0,5989	0,0235	0,5916	0,0213	50	0,6051	0,0110	0,6011	0,0139	0,6017	0,0116
14	0,5850	0,0215	0,5833	0,0240	0,5905	0,0196	51	0,6010	0,0181	0,5991	0,0190	0,6027	0,0219
15	0,5888	0,0248	0,6011	0,0198	0,5982	0,0239	52	0,6027	0,0135	0,6086	0,0122	0,6075	0,0104
16	0,5829	0,0226	0,5923	0,0182	0,5920	0,0236	53	0,5824	0,0146	0,5945	0,0231	0,6008	0,0240
17	0,5729	0,0171	0,5808	0,0152	0,5821	0,0218	54	0,6243	0,0109	0,6216	0,0169	0,6254	0,0118
18	0,5898	0,0240	0,5930	0,0188	0,5977	0,0155	55	0,5885	0,0177	0,5985	0,0280	0,6023	0,0196
19	0,5803	0,0210	0,5839	0,0126	0,5809	0,0217	56	0,5704	0,0175	0,5806	0,0226	0,5820	0,0238
20	0,5887	0,0129	0,5897	0,0161	0,5882	0,0160	57	0,6107	0,0105	0,6084	0,0091	0,6050	0,0106
21	0,6144	0,0091	0,6030	0,0135	0,6129	0,0125	58	0,6006	0,0316	0,5965	0,0251	0,6132	0,0260
22	0,5933	0,0166	0,6015	0,0216	0,6055	0,0178	59	0,6026	0,0240	0,6097	0,0155	0,6129	0,0127
23	0,5716	0,0179	0,5901	0,0212	0,5871	0,0239	60	0,5728	0,0234	0,5827	0,0194	0,5914	0,0217
24	0,5856	0,0262	0,5900	0,0193	0,5852	0,0204	61	0,5922	0,0138	0,5892	0,0184	0,5858	0,0176
25	0,5955	0,0235	0,5925	0,0317	0,5953	0,0289	62	0,5903	0,0229	0,5865	0,0190	0,5813	0,0171
26	0,5944	0,0277	0,5959	0,0326	0,5897	0,0276	63	0,5944	0,0202	0,6036	0,0222	0,6034	0,0255
27	0,6092	0,0266	0,6020	0,0322	0,5995	0,0283	64	0,6101	0,0206	0,6096	0,0185	0,6093	0,0189
28	0,5964	0,0225	0,6011	0,0192	0,6078	0,0152	65	0,5938	0,0212	0,5892	0,0188	0,5973	0,0179
29	0,5729	0,0264	0,5748	0,0201	0,5841	0,0227	66	0,6157	0,0139	0,6198	0,0128	0,6202	0,0100
30	0,5798	0,0252	0,5736	0,0224	0,5870	0,0233	67	0,6162	0,0231	0,6255	0,0109	0,6254	0,0161
31	0,5953	0,0205	0,6038	0,0208	0,6079	0,0193	68	0,5972	0,0228	0,6107	0,0245	0,6157	0,0204
32	0,5909	0,0211	0,5942	0,0263	0,6075	0,0160	69	0,6013	0,0208	0,6254	0,0252	0,6314	0,0171
33	0,5949	0,0256	0,6010	0,0241	0,6064	0,0164	70	0,5905	0,0235	0,5927	0,0209	0,6043	0,0231
34	0,5993	0,0316	0,6018	0,0326	0,6128	0,0224	71	0,5805	0,0258	0,5839	0,0205	0,5797	0,0208
35	0,5911	0,0237	0,5963	0,0259	0,5959	0,0207	72	0,6207	0,0193	0,6227	0,0149	0,6267	0,0153
36	0,6056	0,0256	0,6169	0,0166	0,6094	0,0273	73	0,6051	0,0213	0,6146	0,0154	0,6122	0,0137
37	0,6097	0,0248	0,6057	0,0208	0,6123	0,0213	74	0,6034	0,0219	0,6037	0,0198	0,6035	0,0171
38	0,5800	0,0215	0,5880	0,0204	0,5849	0,0171	75	0,6298	0,0198	0,6216	0,0171	0,6234	0,0177

Tab. A.1: Vypočítané hodnoty z měření č. 1

MI - Vzájemná shoda snímku se snímkem prvním, SO - Směrodatná odchylka

A.2 Hodnoty pro měření č. 2

	Nastavení D		Nastavení E			Nastavení D		Nastavení E	
Snímek	MI	SO	MI	SO	Snímek	MI	SO	MI	SO
2	0,6196	0,0258	0,6151	0,0217	39	0,5908	0,0000	0,5908	0,0000
3	0,6258	0,0291	0,6241	0,0266	40	0,5673	0,0200	0,5680	0,0159
4	0,6279	0,0195	0,6257	0,0188	41	0,5562	0,0175	0,5606	0,0173
5	0,5917	0,0184	0,5942	0,0140	42	0,5735	0,0153	0,5763	0,0202
6	0,6018	0,0155	0,6125	0,0209	43	0,5743	0,0201	0,5700	0,0207
7	0,6008	0,0000	0,6008	0,0000	44	0,5709	0,0189	0,5719	0,0165
8	0,6216	0,0000	0,6216	0,0000	45	0,5948	0,0189	0,5842	0,0201
9	0,6119	0,0000	0,6119	0,0000	46	0,5791	0,0000	0,5791	0,0000
10	0,5874	0,0000	0,5874	0,0000	47	0,5570	0,0000	0,5570	0,0000
11	0,5977	0,0000	0,5977	0,0000	48	0,6061	0,0178	0,6174	0,0041
12	0,6522	0,0000	0,6522	0,0000	49	0,6050	0,0114	0,6071	0,0047
13	0,5762	0,0224	0,5621	0,0156	50	0,5894	0,0100	0,5898	0,0094
14	0,5643	0,0192	0,5608	0,0197	51	0,6010	0,0110	0,6055	0,0018
15	0,5743	0,0221	0,5667	0,0151	52	0,5912	0,0168	0,5935	0,0146
16	0,5684	0,0185	0,5697	0,0203	53	0,5738	0,0222	0,5682	0,0237
17	0,5615	0,0176	0,5594	0,0161	54	0,5795	0,0205	0,5841	0,0235
18	0,5749	0,0191	0,5667	0,0184	55	0,6056	0,0222	0,6031	0,0196
19	0,5689	0,0165	0,5716	0,0193	56	0,5951	0,0106	0,6021	0,0012
20	0,5749	0,0204	0,5590	0,0165	57	0,5778	0,0165	0,5870	0,0153
21	0,5693	0,0177	0,5772	0,0198	58	0,5823	0,0208	0,5843	0,0209
22	0,5752	0,0192	0,5733	0,0145	59	0,5821	0,0000	0,5821	0,0000
23	0,5694	0,0217	0,5701	0,0226	60	0,5866	0,0125	0,5950	0,0111
24	0,5829	0,0179	0,5825	0,0251	61	0,5881	0,0098	0,5963	0,0132
25	0,5861	0,0235	0,5858	0,0219	62	0,5820	0,0150	0,5847	0,0151
26	0,5763	0,0222	0,5796	0,0237	63	0,5940	0,0173	0,6010	0,0214
27	0,5796	0,0144	0,5793	0,0280	64	0,5947	0,0184	0,5982	0,0158
28	0,5847	0,0177	0,5812	0,0211	65	0,5802	0,0168	0,5725	0,0108
29	0,5735	0,0141	0,5665	0,0173	66	0,5772	0,0000	0,5772	0,0000
30	0,5741	0,0145	0,5723	0,0135	67	0,6100	0,0000	0,6100	0,0000
31	0,5831	0,0176	0,5764	0,0205	68	0,6151	0,0000	0,6151	0,0000
32	0,5790	0,0195	0,5712	0,0207	69	0,6319	0,0000	0,6319	0,0000
33	0,5780	0,0182	0,5791	0,0174	70	0,5794	0,0000	0,5794	0,0000
34	0,5964	0,0000	0,5964	0,0000	71	0,5558	0,0173	0,5610	0,0155
35	0,6102	0,0000	0,6102	0,0000	72	0,5903	0,0000	0,5903	0,0000
36	0,5986	0,0000	0,5986	0,0000	73	0,5736	0,0000	0,5736	0,0000
37	0,5928	0,0176	0,5878	0,0208	74	0,5555	0,0000	0,5555	0,0000
38	0,5726	0,0000	0,5726	0,0000	75	0,5801	0,0000	0,5801	0,0000

Tab. A.2: Vypočítané hodnoty z měření č. 2

MI - Vzájemná shoda snímku se snímkem prvním, SO - Směrodatná odchylka

A.3 Hodnoty pro měření č. 3

	Nastavení F		Nastavení G			Nastavení F		Nastavení G	
Snímek	MI	SO	MI	SO	Snímek	MI	SO	MI	SO
2	0,6249	0,0268	0,6270	0,0236	39	0,5908	0,0000	0,5908	0,0000
3	0,6325	0,0274	0,6241	0,0226	40	0,5677	0,0151	0,5758	0,0183
4	0,6369	0,0186	0,6319	0,0230	41	0,5588	0,0175	0,5609	0,0156
5	0,6078	0,0243	0,6058	0,0257	42	0,5777	0,0172	0,5766	0,0249
6	0,6204	0,0271	0,6109	0,0227	43	0,5765	0,0174	0,5621	0,0143
7	0,6008	0,0000	0,6008	0,0000	44	0,5663	0,0182	0,5818	0,0150
8	0,6216	0,0000	0,6216	0,0000	45	0,5926	0,0223	0,5914	0,0177
9	0,6119	0,0000	0,6119	0,0000	46	0,5791	0,0000	0,5791	0,0000
10	0,5874	0,0000	0,5874	0,0000	47	0,5570	0,0000	0,5570	0,0000
11	0,5977	0,0000	0,5977	0,0000	48	0,6142	0,0059	0,6067	0,0169
12	0,6522	0,0000	0,6522	0,0000	49	0,6074	0,0041	0,6044	0,0089
13	0,5779	0,0262	0,5920	0,0298	50	0,5941	0,0077	0,5914	0,0110
14	0,5616	0,0220	0,5603	0,0252	51	0,6062	0,0034	0,6051	0,0108
15	0,5813	0,0192	0,5705	0,0206	52	0,5956	0,0162	0,6023	0,0152
16	0,5644	0,0207	0,5714	0,0181	53	0,5707	0,0186	0,5706	0,0184
17	0,5596	0,0193	0,5588	0,0192	54	0,5760	0,0145	0,5839	0,0268
18	0,5743	0,0165	0,5689	0,0190	55	0,6008	0,0224	0,5922	0,0172
19	0,5661	0,0206	0,5582	0,0168	56	0,6013	0,0016	0,5980	0,0063
20	0,5673	0,0218	0,5613	0,0227	57	0,5768	0,0112	0,5831	0,0176
21	0,5710	0,0142	0,5861	0,0238	58	0,5831	0,0217	0,5792	0,0204
22	0,5752	0,0192	0,5651	0,0158	59	0,5821	0,0000	0,5821	0,0000
23	0,5634	0,0142	0,5738	0,0153	60	0,5942	0,0141	0,5903	0,0115
24	0,5908	0,0275	0,5846	0,0319	61	0,5976	0,0094	0,5939	0,0131
25	0,5842	0,0307	0,5897	0,0219	62	0,5845	0,0148	0,5854	0,0133
26	0,5759	0,0171	0,5766	0,0203	63	0,6003	0,0199	0,5916	0,0186
27	0,5768	0,0134	0,5768	0,0179	64	0,5901	0,0179	0,5965	0,0210
28	0,5826	0,0128	0,5940	0,0204	65	0,5767	0,0107	0,5822	0,0104
29	0,5744	0,0177	0,5695	0,0150	66	0,5772	0,0000	0,5772	0,0000
30	0,5745	0,0118	0,5748	0,0168	67	0,6100	0,0000	0,6100	0,0000
31	0,5740	0,0190	0,5762	0,0148	68	0,6151	0,0000	0,6151	0,0000
32	0,5726	0,0200	0,5769	0,0195	69	0,6319	0,0000	0,6319	0,0000
33	0,5787	0,0164	0,5798	0,0224	70	0,5794	0,0000	0,5794	0,0000
34	0,5964	0,0000	0,5964	0,0000	71	0,5656	0,0213	0,5619	0,0209
35	0,6102	0,0000	0,6102	0,0000	72	0,5903	0,0000	0,5903	0,0000
36	0,5986	0,0000	0,5986	0,0000	73	0,5736	0,0000	0,5736	0,0000
37	0,5969	0,0199	0,5933	0,0178	74	0,5555	0,0000	0,5555	0,0000
38	0,5726	0,0000	0,5726	0,0000	75	0,5801	0,0000	0,5801	0,0000

Tab. A.3: Vypočítané hodnoty z měření č. 3

MI - Vzájemná shoda snímku se snímkem prvním, SO - Směrodatná odchylka

A.4 Hodnoty pro měření č. 4

Snímek	Nastavení H		Nastavení I		Snímek	Nastavení H		Nastavení I	
	MI	SO	MI	SO		MI	SO	MI	SO
2	0,6188	0,0192	0,6240	0,0232	39	0,5908	0,0000	0,5908	0,0000
3	0,6273	0,0274	0,6266	0,0229	40	0,5713	0,0186	0,5650	0,0201
4	0,6275	0,0180	0,6284	0,0165	41	0,5614	0,0120	0,5590	0,0189
5	0,5990	0,0187	0,5940	0,0148	42	0,5693	0,0192	0,5716	0,0151
6	0,6055	0,0179	0,6129	0,0228	43	0,5540	0,0128	0,5621	0,0157
7	0,6008	0,0000	0,6008	0,0000	44	0,5812	0,0125	0,5706	0,0203
8	0,6216	0,0000	0,6216	0,0000	45	0,5975	0,0196	0,5790	0,0152
9	0,6119	0,0000	0,6119	0,0000	46	0,5791	0,0000	0,5791	0,0000
10	0,5874	0,0000	0,5874	0,0000	47	0,5570	0,0000	0,5570	0,0000
11	0,5977	0,0000	0,5977	0,0000	48	0,6132	0,0090	0,6140	0,0070
12	0,6522	0,0000	0,6522	0,0000	49	0,6066	0,0051	0,6074	0,0043
13	0,5913	0,0239	0,5717	0,0226	50	0,5974	0,0081	0,5917	0,0115
14	0,5710	0,0216	0,5615	0,0224	51	0,6075	0,0060	0,6054	0,0042
15	0,5643	0,0201	0,5669	0,0181	52	0,5913	0,0157	0,6012	0,0159
16	0,5626	0,0197	0,5668	0,0214	53	0,5812	0,0243	0,5745	0,0201
17	0,5621	0,0203	0,5570	0,0141	54	0,5812	0,0173	0,5727	0,0147
18	0,5727	0,0182	0,5662	0,0176	55	0,6022	0,0206	0,5989	0,0178
19	0,5676	0,0164	0,5734	0,0188	56	0,5989	0,0048	0,6010	0,0030
20	0,5650	0,0213	0,5626	0,0199	57	0,5792	0,0131	0,5821	0,0190
21	0,5758	0,0229	0,5757	0,0234	58	0,5843	0,0240	0,5782	0,0216
22	0,5693	0,0191	0,5675	0,0208	59	0,5821	0,0000	0,5821	0,0000
23	0,5656	0,0185	0,5646	0,0163	60	0,5970	0,0122	0,5917	0,0094
24	0,5801	0,0222	0,5772	0,0180	61	0,5971	0,0155	0,5969	0,0147
25	0,5858	0,0217	0,5847	0,0215	62	0,5791	0,0117	0,5835	0,0164
26	0,5709	0,0198	0,5834	0,0264	63	0,5975	0,0174	0,5925	0,0186
27	0,5790	0,0220	0,5727	0,0180	64	0,6033	0,0212	0,5963	0,0205
28	0,5835	0,0173	0,5792	0,0166	65	0,5792	0,0116	0,5744	0,0124
29	0,5808	0,0224	0,5687	0,0135	66	0,5772	0,0000	0,5772	0,0000
30	0,5720	0,0167	0,5695	0,0178	67	0,6100	0,0000	0,6100	0,0000
31	0,5817	0,0186	0,5854	0,0195	68	0,6151	0,0000	0,6151	0,0000
32	0,5715	0,0211	0,5711	0,0150	69	0,6319	0,0000	0,6319	0,0000
33	0,5785	0,0148	0,5807	0,0208	70	0,5794	0,0000	0,5794	0,0000
34	0,5964	0,0000	0,5964	0,0000	71	0,5628	0,0194	0,5624	0,0121
35	0,6102	0,0000	0,6102	0,0000	72	0,5903	0,0000	0,5903	0,0000
36	0,5986	0,0000	0,5986	0,0000	73	0,5736	0,0000	0,5736	0,0000
37	0,5938	0,0209	0,5885	0,0204	74	0,5555	0,0000	0,5555	0,0000
38	0,5726	0,0000	0,5726	0,0000	75	0,5801	0,0000	0,5801	0,0000

Tab. A.4: Vypočítané hodnoty z měření č. 4

MI - Vzájemná shoda snímku se snímkem prvním, SO - Směrodatná odchylka

A.5 Hodnoty pro měření č. 5

Snímek	Nastavení J		Nastavení K		Snímek	Nastavení J		Nastavení K	
	MI	SO	MI	SO		MI	SO	MI	SO
2	0,6240	0,0232	0,6085	0,0175	39	0,5908	0,0000	0,5908	0,0000
3	0,6266	0,0229	0,6238	0,0205	40	0,5650	0,0201	0,5704	0,0171
4	0,6284	0,0165	0,6212	0,0195	41	0,5590	0,0189	0,5588	0,0138
5	0,5940	0,0148	0,5963	0,0144	42	0,5716	0,0151	0,5706	0,0117
6	0,6129	0,0228	0,6074	0,0197	43	0,5621	0,0157	0,5682	0,0199
7	0,6008	0,0000	0,6008	0,0000	44	0,5706	0,0203	0,5626	0,0153
8	0,6216	0,0000	0,6216	0,0000	45	0,5790	0,0152	0,5876	0,0214
9	0,6119	0,0000	0,6119	0,0000	46	0,5791	0,0000	0,5791	0,0000
10	0,5874	0,0000	0,5874	0,0000	47	0,5570	0,0000	0,5570	0,0000
11	0,5977	0,0000	0,5977	0,0000	48	0,6140	0,0070	0,6114	0,0121
12	0,6522	0,0000	0,6522	0,0000	49	0,6074	0,0043	0,6063	0,0082
13	0,5717	0,0226	0,5722	0,0206	50	0,5917	0,0115	0,5888	0,0119
14	0,5615	0,0224	0,5702	0,0217	51	0,6054	0,0042	0,6126	0,0069
15	0,5669	0,0181	0,5744	0,0180	52	0,6012	0,0159	0,5960	0,0177
16	0,5668	0,0214	0,5717	0,0168	53	0,5745	0,0201	0,5697	0,0205
17	0,5570	0,0141	0,5490	0,0147	54	0,5727	0,0147	0,5782	0,0262
18	0,5662	0,0176	0,5561	0,0178	55	0,5989	0,0178	0,5945	0,0208
19	0,5734	0,0188	0,5681	0,0167	56	0,6010	0,0030	0,5977	0,0098
20	0,5626	0,0199	0,5543	0,0219	57	0,5821	0,0190	0,5860	0,0148
21	0,5757	0,0234	0,5775	0,0264	58	0,5782	0,0216	0,5732	0,0176
22	0,5675	0,0208	0,5728	0,0205	59	0,5821	0,0000	0,5821	0,0000
23	0,5646	0,0163	0,5696	0,0222	60	0,5917	0,0094	0,5915	0,0126
24	0,5772	0,0180	0,5711	0,0157	61	0,5969	0,0147	0,5947	0,0092
25	0,5847	0,0215	0,5792	0,0242	62	0,5835	0,0164	0,5864	0,0153
26	0,5834	0,0264	0,5739	0,0216	63	0,5925	0,0186	0,5938	0,0174
27	0,5727	0,0180	0,5694	0,0148	64	0,5963	0,0205	0,5935	0,0175
28	0,5792	0,0166	0,5742	0,0206	65	0,5744	0,0124	0,5757	0,0098
29	0,5687	0,0135	0,5771	0,0244	66	0,5772	0,0000	0,5772	0,0000
30	0,5695	0,0178	0,5759	0,0216	67	0,6100	0,0000	0,6100	0,0000
31	0,5854	0,0195	0,5746	0,0203	68	0,6151	0,0000	0,6151	0,0000
32	0,5711	0,0150	0,5660	0,0181	69	0,6319	0,0000	0,6319	0,0000
33	0,5807	0,0208	0,5713	0,0214	70	0,5794	0,0000	0,5794	0,0000
34	0,5964	0,0000	0,5964	0,0000	71	0,5624	0,0121	0,5626	0,0221
35	0,6102	0,0000	0,6102	0,0000	72	0,5903	0,0000	0,5903	0,0000
36	0,5986	0,0000	0,5986	0,0000	73	0,5736	0,0000	0,5736	0,0000
37	0,5885	0,0204	0,5918	0,0181	74	0,5555	0,0000	0,5555	0,0000
38	0,5726	0,0000	0,5726	0,0000	75	0,5801	0,0000	0,5801	0,0000

Tab. A.5: Vypočítané hodnoty z měření č. 4

MI - Vzájemná shoda snímku se snímkem prvním, SO - Směrodatná odchylka

B OBSAH PŘILOŽENÉHO CD - DOPLNIT

Přiložené CD obsahuje elektronickou verzi bakalářské práce s názvem `xbarto79.pdf`. Dále ve složce `Stabilizace` naleznete veškeré soubory MATLAB programu k vykonávání stabilizace obrazu a video soubor `video.avi` je video, které bylo použito při měření.

Obsah:

- `xbarto79.pdf`
- `Stabilizace`
 - `GUI_stabilizace.m`
 - `stabil_CRS.m`
 - `Genetic.m`
 - `evolve.m`
 - `mutualInfo.m`
 - `ukazka.m`
 - `Ukazka_gen.m`
 - `video.avi`